

**TUGAS AKHIR – TL184834**

**PENGARUH PENAMBAHAN PERSEN MASSA rGO  
TERHADAP SIFAT FOTOKATALITIK MATERIAL  
KOMPOSIT ZINC OXIDE/REDUCED GRAPHENE OXIDE  
(ZnO/rGO) PADA PROSES DEGRADASI LIMBAH  
PARASETAMOL**

**AZHIM RAMA PERKASA**  
NRP. 0251184000087

Dosen Pembimbing  
**Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 197701162003122007  
**Azzah Dyah Pramata, ST., MT., M.Eng., PhD.**  
NIP. 1992202012023

**PROGRAM STUDI TEKNIK MATERIAL**  
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022





**TUGAS AKHIR – TL 184834**

**PENGARUH PENAMBAHAN PERSEN MASSA rGO  
TERHADAP SIFAT FOTOKATALITIK MATERIAL  
KOMPOSIT ZINC OXIDE/REDUCED GRAPHENE  
OXIDE (ZnO/rGO) PADA PROSES DEGRADASI  
LIMBAH PARASETAMOL**

**AZHIM RAMA PERKASA**

**NRP. 02511840000087**

Dosen Pembimbing

**Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.**

**NIP. 197701162003122007**

**Azzah Dyah Pramata, ST., MT., M.Eng., PhD.**

**NIP. 1992202012023**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MATERIAL**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI**

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – TL 184834**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDING rGO MASS  
ON THE PHOTOCATALYST PROPERTIES OF  
ZnO/rGO COMPOSITE MATERIALS IN DEGRADING  
PARACETAMOL WASTE**

**AZHIM RAMA PERKASA**  
NRP. 02511840000087

Supervisor  
**Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 197701162003122007  
**Azzah Dyah Pramata, ST., MT., M.Eng., PhD.**  
NIP. 1992202012023

**Study Program of Materials Engineering**  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and System Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(This page is intentionally left blank)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGARUH PENAMBAHAN PERSEN MASSA RGO TERHADAP SIFAT FOTOKATALITIK MATERIAL KOMPOSIT ZINC OXIDE/REDUCED GRAPHENE OXIDE (ZnO/rGO) PADA PROSES DEGRADASI LIMBAH PARASETAMOL

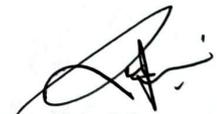
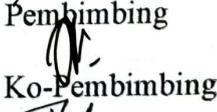
#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **AZHIM RAMA PERKASA**  
NRP. 0251184000087

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
2. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D
3. Sigit Tri Wicaksono, S.Si. M.Si. PhD
4. Lukman Noerochiem, S.T. M.Sc. Eng. PhD

  
Pembimbing  
  
Ko-Pembimbing  
  
Penguji  
  
Penguji



**SURABAYA**  
**Juli, 2022**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## APPROVAL SHEET

### ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDING rGO MASS ON THE PHOTOCATALYST PROPERTIES OF rGO/ZnO COMPOSITE MATERIALS IN DEGRADING PARACETAMOL WASTE

#### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree of bachelor of engineering at  
Undergraduate Study Program of Materials Engineering  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

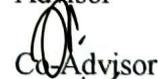
By : **AZHIM RAMA PERKASA**  
NRP. 0251184000087

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
2. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D
3. Sigit Tri Wicaksono, S.Si. M.Si. Ph.D
4. Lukman Noerochiem, S.T. M.Sc. Eng. Ph.D



Advisor



Co-Advisor



Examiner



Examiner



**SURABAYA**  
July, 2022

*(This page is intentionally left blank)*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Azhim Rama Perkasa/02511840000087  
Departemen : Material dan Metalurgi  
Dosen Pembimbing/NIP : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D./ NIP. 197701162003122007

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN MASSA rGO TERHADAP SIFAT FOTOKATALITIK MATERIAL KOMPOSIT ZnO/rGO DALAM MENDEGRADASI LIMBAH PARACETAMOL” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 15 July 2022

Mengetahui  
Dosen Pembimbing



Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197701162003122007

Mahasiswa



(Azhim Rama Perkasa)  
NRP. 02511840000087

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Azhim Rama Perkasa/02511840000087  
Departement : Materials and Metallurgical Engineering  
Advisor/NIP : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D./ NIP. 197701162003122007

Hereby declare that the Final Project with the title of “ANALYSIS OF THE EFFECT OF IRRADIATION DURATION ON THE STRUCTURE OF GRAPHENE SYNTHESIZED BY THE MICROWAVE-ASSISTED SOLVOTHERMAL METHOD FOR THE SUPERCAPACITOR APPLICATION” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing..

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 13 July 2022

Acknowledged  
Advisor

Student



Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197701162003122007



(Azhim Rama Perkasa)  
NRP. 02511840000087

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

**PENGARUH PENAMBAHAN PERSEN MASSA rGO TERHADAP SIFAT  
FOTOKATALITIK MATERIAL KOMPOSIT ZINC OXIDE/REDUCED GRAPHENE  
OXIDE (ZnO/rGO) PADA PROSES DEGRADASI LIMBAH PARASETAMOL**

**Nama** : Azhim Rama Perkasa  
**NRP** : 0251184000087  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing I** : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph. D.  
**Pembimbing II** : Azzah Dyah Pramata, ST., MT., M.Eng., PhD

**Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh massa rGO terhadap struktur dan morfologi ZnO/rGO hasil sintesis serta menganalisis performansi dalam mendegradasi limbah parasetamol. Penelitian ini dilatarbelakangi dengan adanya pandemi COVID-19 membuat permintaan akan obat-obatan dan kebutuhan farmasi semakin meningkat. Salah satunya adalah Acetaminophen, yang dikenal sebagai parasetamol. Hal ini menyebabkan limbah farmasi yang kadar konsentrasinya di sungai cukup tinggi. Sehingga, diperlukan metode yang dapat mendegradasi limbah parasetamol yaitu melalui metode fotokatalis semikonduktor. Untuk melakukan langkah tersebut, dipilih material ZnO/rGO yang memiliki perpaduan antara material ZnO yang memiliki aktivitas katalitiknya yang tinggi, namun memiliki nilai band gap yang lebar dan rGO untuk membantu penyempitan band gap dari ZnO. Metode hummer yang dimodifikasi digunakan untuk mensintesis rGO, dengan bantuan microwave untuk membantu interkalasi grafit. Dengan mengubah massa rGO, material komposit ZnO/rGO dibuat melalui teknik *thermal reduction* (10 persen, 25 persen, dan 35 persen). Beberapa pengujian seperti XRD (X-Ray Diffraction) digunakan untuk menentukan struktur kristal dan ukuran material, FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan senyawa yang terkandung, dan SEM (Scanning Electron Microscopy) untuk menentukan morfologi bahan. Pemecahan parasetamol dibantu oleh penggunaan penyinaran cahaya tampak dari bola lampu LED 20 watt. Sampel dianalisis menggunakan UV-Vis untuk mengetahui pengaruh komposit ZnO/rGO terhadap degradasi parasetamol dan GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectroscopy) untuk mengetahui kandungan parasetamol setelah proses fotodegradasi. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa penambahan % massa rGO mempengaruhi struktur morfologi dan struktur kimia. Pengaruh tersebut berupa perubahan struktur kristal disertai naiknya intensitas, penambahan lipatan pada analisa SEM, adanya ikatan kimia C=C dan hilangnya gugus hydroxyl. Dan Penambahan persentase massa rGO mampu meningkatkan efisiensi ZnO dalam mendegradasi limbah parasetamol dengan yang paling optimal adalah penambahan massa 10%.

**Kata Kunci:** *Bahan Aktif Berbahaya, Aktivitas Fotokatalitik, Parasetamol, Reduced graphene Oxide, ZnO/rGO*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# ANALYSIS OF THE EFFECT OF IRRADIATION DURATION ON THE STRUCTURE OF GRAPHENE SYNTHESIZED BY THE MICROWAVE-ASSISTED SOLVOTHERMAL METHOD FOR THE SUPERCAPACITOR APPLICATION

**Student Name** : Azhim Rama Perkasa  
**NRP** : 0251184000087  
**Department** : Material and Metallurgical Engineering  
**Advisor** : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.  
**Co-Advisor** : Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.

## Abstract

This research is aimed to analyze effect of addition rGO mass in ZnO/rGO and to analyze performance of reduced graphene oxide to reduce paracetamol waste. This background's research is coronavirus Disease 2019 (COVID-19) pandemic which influenced the demand for medicines and pharmaceutical needs which is increasing. One of them is Acetaminophen, known as paracetamol. This causes pharmaceutical waste to have a high concentration in the river. The method that can degrade paracetamol waste is through the semiconductor photocatalyst method. The ZnO/rGO material was chosen because of the combination of ZnO material which has high catalytic activity, but has a wide band gap value and rGO to help narrow the band gap of ZnO. The modified hummer's method was used to synthesize rGO, with the help of a microwave to help graphite intercalation. By changing the mass of rGO, ZnO/rGO composite materials were prepared by thermal reduction technique (10 percent, 25 percent, and 35 percent). XRD (X-Ray Diffraction) was used to determine the crystal structure and size of the material, FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) to identify functional groups and the compounds contained, and SEM (Scanning Electron Microscopy) to determine the morphology of the material. The breakdown of paracetamol is aided by the use of visible light irradiation from a 20 watt LED bulb. The samples were analyzed using UV-Vis to determine the effect of ZnO/rGO composite on the degradation of paracetamol and GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectroscopy) to determine the paracetamol content after the photodegradation process. The result in this research is change of crystal structure, microscopic structure and c=c bonding as a result of addition of rGO and the performance to reduce paracetamol waste was effective and efficient with the most optimum is 10% rGO addition.

**Keywords:** *Active Pharmaceutical Ingredients (APIs), Paracetamol, Photocatalytic Activity, Paracetamol, Reduced graphene Oxide, ZnO/rGO*

*(This page intentionally left blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian tugas akhir yang berjudul **“PENGARUH PENAMBAHAN PERSEN MASSA rGO TERHADAP SIFAT FOTOKATALITIK MATERIAL KOMPOSIT ZINC OXIDE/REDUCED GRAPHENE OXIDE (ZnO/rGO) PADA PROSES DEGRADASI LIMBAH PARASETAMOL”** untuk memenuhi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama proses penelitian, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis, diantaranya adalah:

1. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
2. Azzah Dyah Pramata, ST., MT., M.Eng., PhD., selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
3. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T.,M.Sc. selaku dosen wali.
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-RS ITS.

Penulis berharap penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak. Penulis juga menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan ini. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, 5 Juli 2022  
Penulis

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>Abstrak</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>1 BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
<b>2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Pencemaran Perairan .....	3
2.1.1 Pencemaran Perairan Akibat Limbah Farmasi .....	3
2.1.2 Pencemaran Perairan dari Limbah Parasetamol .....	3
2.1.3 Dampak dari Parasetamol yang Berlebihan.....	4
2.2 Parasetamol.....	4
2.3 <i>Zinc Oxide</i> (ZnO).....	6
2.4 Reduced Graphene Oxide (rGO) .....	7
2.4.1 Grafena Oksida .....	8
2.4.2 Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	9
2.4.3 Pengujian <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	9
2.4.4 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	10
2.5 Fotokatalis .....	10
2.5.1 Reaksi Fotokatalitik .....	10
2.5.2 Analisis Fotodegradasi .....	11
2.5.3 Reaksi Fotokatalitik .....	11
2.6 Prospek Aplikasi Fotokatalis .....	12
2.7 Penelitian Sebelumnya .....	13
<b>3 BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>15</b>
3.1 Bahan Penelitian .....	15
3.2 Alat Penelitian .....	15
3.3 Diagram Alir.....	16
3.3.1 Sintesis <i>Expanded Graphite</i> .....	16
3.3.2 Sintesis <i>reduced Graphene Oxide</i> (rGO).....	17
3.3.3 Sintesis komposit ZnO/ <i>Reduced Graphene Oxide</i> .....	19
3.4 Sintesis.....	20
3.4.1 Sintesis <i>Expanded Graphite</i> (EG) .....	20
3.4.2 Sintesis Grafit Oksida (GO) .....	20
3.4.3 Sintesis <i>Reduced Graphene Oxide</i> (rGO).....	20
3.5 Pengujian .....	20
3.5.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	20

3.5.2	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i> .....	22
3.5.3	<i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i> .....	23
3.5.4	Spektrofotometri UV Vis .....	24
3.5.5	Pengujian Fotokatalis .....	25
3.5.6	Metodologi Fotokatalis .....	26
3.6	Rancangan Penelitian .....	27
3.7	Jadwal Penelitian .....	28
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>29</b>
4.1.	Hasil Sintesis Komposit ZnO/rGO .....	29
4.2.	Analisis Hasil Pengujian .....	30
4.2.1.	Hasil Pengujian XRD.....	30
4.2.2.	Hasil Pengujian SEM-EDX .....	34
4.2.3.	Hasil Pengujian FTIR .....	36
4.2.4.	Hasil Pengujian Spektrofotometri UV-Vis .....	37
4.3.	Analisis Hasil Fotokatalis .....	39
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>47</b>
5.1.	Kesimpulan .....	47
5.2.	Saran .....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>53</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b>	.....	<b>69</b>
<b>BIODATA PENULIS</b>	.....	<b>71</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Struktur Parasetamol (Rumus Molekul $C_8H_9NO_2 = 151.2$ )(Ahmed, 2019)	5
<b>Gambar 2.2</b> Struktur kristal ZnO <i>wurtzite</i> (koordinasi tetrahedral ZnO), <i>zinc blende</i> , dan <i>rocksalt</i> (Ali et al., 2018).....	6
<b>Gambar 2.3</b> Beberapa bentuk Polimorf Karbon (a) Grafena, (b) Fullerenes, (c) Nanotubes, dan (d) Grafit(Nugraheni et al., 2017).....	7
<b>Gambar 2.4</b> Proses reduksi termal grafena oksida menjadi rGO(Scrufford, 2013).....	8
<b>Gambar 2.5</b> Proses pembentukan struktur <i>Graphene Oxide</i> (GO) dari grafit(Nugraheni et al., 2017).....	9
<b>Gambar 2.6</b> Hasil SEM dari permukaan grafena(Drewniak et al., 2016). .....	9
<b>Gambar 2.7</b> Grafik FTIR (a,b) perbandingan konsentrasi rGO(Nugraheni et al., 2017)	10
<b>Gambar 2.8</b> Pola XRD pada grafit, GO, dan rGO(Liu et al., 2013).....	10
<b>Gambar 2.9</b> Mekanisme fotokatalis dan reaksi redoks pada reaksi fotokatalitik bekerja(Kamat, 2012) .....	11
<b>Gambar 2.10</b> Jalur yang diusulkan untuk degradasi fotokatalitik APAP dalam larutan dengan menggunakan ZnO yang didoping-La di bawah cahaya tampak(Thi & Lee, 2017) .....	12
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Sintesis <i>Expanded graphite</i> (EG).....	16
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Sintesis <i>reduced Graphene Oxide</i> (rGO) .....	18
<b>Gambar 3.3</b> Diagram Alir Sintesis Komposit <i>Zinc Oxide/Reduced Graphene Oxide</i> ..	19
<b>Gambar 3.4</b> Instrumen XRD <i>Malvern Panalytical's multipurpose</i> .....	21
<b>Gambar 3.5</b> Alat uji SEM-EDX Inspect S-50 .....	22
<b>Gambar 3.6</b> Mekanisme <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....	23
<b>Gambar 3.7</b> Alat uji FTIR.....	23
<b>Gambar 3.8</b> Prinsip Kerja FTIR .....	24
<b>Gambar 3.9</b> Alat Uji UV-Vis.....	24
<b>Gambar 3.10</b> Pengujian Fotokatalis .....	25
<b>Gambar 3.11</b> Skema Pengujian Fotokatalis .....	26
<b>Gambar 4. 1</b> Hasil Sintesis <i>Zinc Oxide</i> .....	29
<b>Gambar 4. 2</b> Hasil Sintesis Komposit ZnO/rGO dengan Variasi Massa 10% rGO, Massa 15% rGO, dan 20% rGO.....	30
<b>Gambar 4. 3</b> Hasil Pengujian XRD Grafit , <i>Expanded Graphite</i> dan <i>Reduce graphene oxide</i> .....	31
<b>Gambar 4. 4</b> Hasil pengujian XRD senyawa ZnO dan senyawa ZnO; dan komposit ZnO/rGO 10%; ZnO/rGO 15%; dan ZnO/rGO 20%.....	32
<b>Gambar 4. 5</b> Hasil Pengujian morfologi dari permukaan senyawa (a)ZnO ; dan komposit (b)ZnO/rGO 10%; (c)ZnO/rGO 15%; dan (d)ZnO/rGO 20%.....	34
<b>Gambar 4. 6</b> Hasil Pengujian EDX pada (a) Senyawa ZnO, (b) 10% rGO, (c) 15%rGO, (d) 20% rGO .....	35
<b>Gambar 4. 7</b> Hasil Pengujian FTIR <i>Reduced Graphene Oxide</i> .....	36
<b>Gambar 4. 8</b> Hasil Pengujian FTIR senyawa ZnO dan komposit ZnO/rGO .....	37
<b>Gambar 4. 9</b> Hasil Uji UV-VIS Parasetamol 300 ppm .....	38
<b>Gambar 4. 10</b> Kurva regresi linear.....	39
<b>Gambar 4. 11</b> Hasil Pengujian UV-Vis larutan parasetamol dengan semikonduktor senyawa ZnO .....	40
<b>Gambar 4. 12</b> Hasil Pengujian UV-Vis larutan parasetamol dengan semikonduktor senyawa ZnO/rGO 10%.....	41

<b>Gambar 4. 13</b>	Gambar 4. 12 Hasil Pengujian UV-Vis larutan parasetamol dengan semikonduktor senyawa ZnO/rGO 15% .....	42
<b>Gambar 4. 14</b>	Hasil Pengujian UV-Vis larutan parasetamol dengan semikonduktor senyawa ZnO/rGO 20% .....	42
<b>Gambar 4. 15</b>	Diagram absorbans hasil degradasi parasetamol dengan semikonduktor ZnO dan membandingkannya dengan ZnO yang telah dikompositkan dengan reduced Graphene Oxide dengan 0variasi 10%, 15%, dan 20%. .....	43
<b>Gambar 4. 16</b>	Grafik <i>Removal Percentage</i> Zno dan rGO dengan variasi 10%,15% dan 20% .....	43

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Penentuan parasetamol dalam sampel air limbah industri(Ahmed, 2019) .....	3
<b>Tabel 2.2</b> Penentuan parasetamol dalam formulasi farmasi(Ahmed, 2019).....	5
<b>Tabel 2.3</b> Penelitian Sebelumnya.....	13
<b>Tabel 3.1</b> Informasi hasil Pengujian XRD(Nayiroh, 2014) .....	22
<b>Tabel 3.2</b> Rancangan Penelitian.....	27
<b>Tabel 3.3</b> Jadwal Penelitian .....	28
<b>Tabel 4. 1</b> Hasil Perhitungan Nilai Ukuran Kristal Sampel ZnO, .....	33
<b>Tabel 4. 2</b> jumlah % Wt pada masing masing sampel .....	35
<b>Tabel 4. 3</b> jumlah % at pada masing masing sampel .....	35
<b>Tabel 4. 4</b> Nilai absorbansi parasetamol pada konsentrasi yang diuji .....	39
<b>Tabel 4. 5</b> Nilai absorbansi hasil degradasi parasetamol dari material ZnO, ZnO/rGO 10%, ZnO/rGO 15% dan ZnO/rGO 20% .....	40
<b>Tabel 4. 6</b> Konstanta peluruhan pada masing masing sampel .....	43
<b>Tabel 4. 7</b> <i>Removal Percentage</i> pada sampel pada 30 menit dan 60 menit.....	44

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Manusia telah menggunakan obat-obatan farmasi dan stimulan selama beberapa dekade, dan mereka secara teratur ditemukan di air limbah, air tawar, dan ekosistem pesisir. Pengobatan sendiri merupakan hal yang umum, terutama di kalangan masyarakat miskin, dan penggunaan obat-obatan (khususnya parasetamol) diyakini telah meningkat selama pandemi *Coronavirus Disease 2019* (COVID-19) pada tahun 2020 dan 2021 (Koagouw et al., 2021). Jika COVID-19 ringan belum teridentifikasi, penggunaan parasetamol untuk menurunkan demam seharusnya dianggap aman (Pandolfi et al., 2021). Manusia telah menggunakan obat-obatan farmasi dan stimulan selama beberapa dekade, dan mereka secara teratur ditemukan di air limbah, air tawar, dan ekosistem pesisir. Ribuan ton parasetamol dikonsumsi setiap tahun, menjadikannya salah satu pereda nyeri yang paling banyak digunakan (Koagouw et al., 2021).

Selama pembuatan, penggunaan, dan pembuangannya, *Active Pharmaceutical Ingredients* (APIs) atau Bahan Aktif Farmasi (BAF) dilepaskan ke lingkungan. Ada bukti bahwa paparan BAF di lingkungan memiliki konsekuensi negatif bagi ekosistem dan manusia (misalnya, melalui pemilihan bakteri resisten antibiotik, feminisasi ikan, dan membuat ikan lebih rentan dimangsa). Sangat penting untuk memahami konsentrasi yang terjadi di habitat sungai untuk sepenuhnya memahami kemungkinan implikasi dari paparan farmakologis ini (Wilkinson et al., 2022).

Acetaminophen (umumnya dikenal sebagai parasetamol) adalah obat pereda nyeri (analgesik) dan pereda demam (antipiretik) yang dijual bebas. Ini adalah jenis obat yang berbeda dari penghilang rasa sakit yang dijual bebas lainnya seperti ibuprofen dan naproxen, yang juga digunakan untuk mengatasi rasa sakit dan demam. Acetaminophen tersedia dalam bentuk pil, cairan, injeksi, dan supositoria rektal, dan sering digunakan untuk demam dan ketidaknyamanan anak dan dewasa. Acetaminophen umumnya disebut sebagai "parasetamol" di Amerika Serikat dan Kanada dan digunakan untuk tujuan yang sama. (Kingsley Ogendi, 2019)

Pengolahan air limbah, khususnya limbah farmasi merupakan tantangan besar bagi peneliti dan pengambil keputusan karena banyak faktor yang harus dipertimbangkan seperti proses pengolahan, unit prapengolahan, rasio biaya/manfaat, efektivitas dan dampak lingkungan. Berbagai semikonduktor oksida logam seperti bismut vanadat ( $\text{BiVO}_4$ ), timah oksida ( $\text{SnO}_2$ ), titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ), tungsten oksida ( $\text{WO}_3$ ) dan seng oksida ( $\text{ZnO}$ ) telah digunakan sebagai katalis untuk degradasi kontaminan organik dalam air (Al-Gharibi et al., 2021).

Penggunaan fotokatalis semikonduktor untuk menghilangkan polutan beracun dan organik adalah teknik yang menjanjikan. Di antara semikonduktor yang disebutkan di atas, oksida logam dengan *band gap* yang lebar seperti semikonduktor ZnO, adalah fotokatalis yang paling banyak digunakan karena aktivitas katalitiknya yang tinggi, toksisitas rendah, stabilitas jangka panjang dalam kondisi tertentu, ketersediaan tinggi, dan biaya rendah. Namun demikian, ZnO memiliki kelemahan seperti kemampuan menangkap (absorpsi) cahaya tampak yang lebih rendah sehingga efisiensi fotokatalitiknya lebih rendah. Untuk mendapatkan fotokatalis pemanen sinar matahari (terutama cahaya tampak), sintesis semikonduktor/komposit logam yang sesuai menggunakan proses yang berkelanjutan dan murah adalah yang terpenting (Thi & Lee, 2017).

Pada penelitian Maryam Awadh Al-Gharibi dkk. digunakan katalis yang didukung ZnO *Nano-Rods* (NR) yang didekorasi dengan Ag *Nano-particles* (NPs). Dalam penelitian ini, perlakuan fotokatalitik cahaya tampak parasetamol menggunakan NP Ag telah dilaporkan sebagai sifat optik yang sangat baik yang dapat meningkatkan penyerapan cahaya tampak

karena sifat Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR) yang terlokalisasi yang mendukung efek keberlanjutan dalam aktivitas fotokatalitik. Dengan demikian, dekorasi NPs Ag pada permukaan ZnO NR sangat meningkatkan aktivitas fotokatalitik karena peningkatan penyerapan cahaya tampak serta stabilitas katalis (*reuseability*). (Al-Gharibi et al., 2021)

Dari penelitian diatas, material ZnO/rGO memiliki potensi besar dalam aplikasinya sebagai fotokatalis dalam degradasi polutan. Material ZnO/rGO dianggap mampu mempercepat proses reduksi dan oksidasi selama reaksi fotokatalitik terjadi. Metode sintesis komposit ZnO/rGO menggunakan *Microwave-assisted modified hummer's method* masih belum banyak dibahas. Metode ini digunakan karena lebih simple, cepat dan lebih efisien. Setelah material terbentuk dilakukan pengujian karakterisasi XRD, SEM, FTIR, UV-Vis, dan GC-MS untuk mengetahui sifat, morfologi, beserta sifat fotokatalis dari material. Selain itu, pengaruh penambahan rGO pada komposit ZnO/rGO terhadap sifat fotokatalis untuk degradasi parasetamol akan dianalisis. Diharapkan kajian material komposit ZnO/rGO dalam degradasi parasetamol dapat menjadi alternatif untuk mengatasi limbah parasetamol di Indonesia.

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh massa rGO terhadap struktur dan morfologi ZnO/rGO hasil sintesis dengan *Microwave-assisted solvothermal*?
2. Bagaimana pengaruh massa rGO terhadap sifat fotokatalis ZnO/rGO dalam mendegradasi parasetamol?

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil akhir yang sesuai dengan yang diinginkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut adalah :

1. Ukuran serbuk grafit dianggap homogen
2. Temperatur yang di setting pada microwave dianggap konstan
3. Temperatur dan tekanan udara di sekitar dianggap konstan
4. Ph akuades dianggap netral

## 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh massa rGO terhadap struktur dan morfologi ZnO/rGO hasil sintesis dengan *Microwave-assisted solvothermal*.
2. Menganalisis pengaruh massa rGO terhadap sifat fotokatalis ZnO/rGO dalam mendegradasi parasetamol.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan alternatif metode pengolahan limbah parasetamol yang lebih cepat dan ekonomis.
2. Sebagai pengembangan pengetahuan terhadap upaya untuk meminimalisir masalah lingkungan, khususnya penguraian limbah rumah tangga berbahaya dan industri obat-obatan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pencemaran Perairan

Pengelolaan kualitas air sangat penting untuk menjamin perlindungan lingkungan dan kesehatan manusia dan memastikan pembangunan berkelanjutan. *Direct Discharge of Untreated Wastewater* (DDUW) merupakan sumber pencemaran air yang signifikan yang merupakan sekitar 80% dari air limbah yang dibuang secara global (Bagnis et al., 2020).

#### 2.1.1 Pencemaran Perairan Akibat Limbah Farmasi

Manusia telah menggunakan obat-obatan farmasi dan stimulan selama beberapa dekade, dan mereka secara teratur ditemukan di air limbah, air tawar, dan ekosistem pesisir. Antibiotik, antikonvulsan, antipiretik, obat sitostatika, dan hormon hanyalah beberapa dari obat-obatan yang telah dikonsumsi di seluruh dunia. Kehadiran obat-obatan ini di lingkungan, serta metamorfosisnya, telah memicu kekhawatiran tentang dampak merugikannya terhadap ekosistem dan kesehatan manusia. Pengobatan sendiri adalah umum, terutama di kalangan orang miskin, dan sejumlah besar obat yang tidak terpakai, kadaluarsa, dan sisa obat telah dilepaskan ke lingkungan selama dan setelah pengobatan. Akibatnya, obat-obatan telah ditemukan di limbah beberapa negara, seperti air permukaan, dan air tanah (Thi & Lee, 2017).

Meskipun semakin banyak bukti dampak negatif obat-obatan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, sedikit yang diketahui tentang keberadaannya globalnya di sungai. Pada penelitian John L. Wilkinson dkk. tentang kemunculan limbah farmasi di 75 dari 196 negara, dengan sebagian besar penelitian dilakukan di Amerika Utara dan Eropa Barat. Studi tersebut mengamati 1.052 situs di sepanjang 258 sungai di 104 negara di seluruh dunia, yang mewakili sidik jari farmakologis dari 471,4 juta orang. Kehadiran kontaminan ini di air permukaan merupakan bahaya bagi ekosistem dan/atau kesehatan manusia di lebih dari seperempat tempat yang dievaluasi secara global, menurut temuan kami (Wilkinson et al., 2022).

#### 2.1.2 Pencemaran Perairan dari Limbah Parasetamol

Akumulasi dari semua senyawa *Active Pharmaceutical Ingredients* (APIs) atau Bahan Aktif Farmasi (BAF) yang dikuantifikasi di lokasi spesifik itu digunakan untuk menghitung konsentrasi farmasi kumulatif di setiap lokasi sampel. Kontaminan dengan konsentrasi tertinggi adalah parasetamol, kafein, metformin, fexofenadine, sulfametoksazol (antimikroba), metronidazol (antimikroba), dan gabapentin. Konsentrasi tertinggi dari setiap BAF adalah 227 g/L untuk parasetamol di lokasi pengujian di Rio Seke (sungai kecil yang sangat tercemar) di La Paz, Bolivia, di mana kru pengambilan sampel lokal menemukan indikasi pembuangan tangki septik dan pembuangan sampah ke hulu dari lokasi pengambilan sampel (Wilkinson et al., 2022).

**Tabel 2.1** Penentuan parasetamol dalam sampel air limbah industri (Ahmed, 2019)

Jenis Sampel Air	Parasetamol, µg/mL*		Recovery%
	Diambil	Ditemukan	
Limbah Industri	20	20.0	100%
	40	40.6	101.5%
	60	60.4	100.6%

\* Mean dari sepuluh penentuan

Akibatnya, karena banyak dari bahan kimia ini didistribusikan secara luas dalam media berair pada tingkat konsentrasi rendah, nasib dan perilakunya bisa sangat rumit. Limbah dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), misalnya, merupakan sumber terus menerus dari banyak kontaminan yang muncul, karena sebagian besar IPAL saat ini tidak dirancang untuk

menghilangkan mikro polutan organik, dan banyak dari kontaminan ini dapat melewati proses IPAL dan mencapai perairan. lingkungan (Bagnis et al., 2020). Hasil sampel air limbah industri disajikan pada **Tabel 2.1**. Hal ini menunjukkan bahwa nilai recovery yang diperoleh mendekati 100% (Ahmed, 2019).

Ribuan ton parasetamol dikonsumsi setiap tahun, menjadikannya salah satu pereda nyeri yang paling banyak digunakan. Meskipun zat ini dihilangkan dengan kecepatan tinggi (>90%) di instalasi pengolahan air limbah (IPAL), zat ini telah ditemukan dalam limbah cair dengan jumlah hingga 200 ng/L. Konsentrasi parasetamol di perairan laut biasanya dalam kisaran puluhan nanogram per liter (Koagouw et al., 2021).

### 2.1.3 Dampak dari Parasetamol yang Berlebihan

Karena kemungkinan efek kesehatan kronis dari asupan jangka panjang telah diakui, keberadaan jejak parasetamol dalam air minum telah menjadi perhatian publik. Overdosis APAP akut dapat mengakibatkan kerusakan hati yang mematikan, dan toksisitas obat adalah penyebab utama gagal hati akut di negara-negara Barat, yang menyebabkan sebagian besar overdosis obat di Amerika Serikat, Inggris, Austria, dan Selandia Baru. Badan Pengawas Obat dan Makanan AS/ *US Food and Drug Administration* (FDA) mengeluarkan peringatan baru pada Agustus 2013 bahwa parasetamol dapat menyebabkan respons kulit yang mematikan seperti sindrom *Stevens-Johnson* dan *Toxic Epidermal Necrolysis*. Ketika APAP dosis tinggi diberikan, penelitian tertentu menunjukkan bahwa kerusakan ginjal atau perdarahan lambung dapat terjadi (Thi & Lee, 2017).

Salah satu hewan yang dijadikan penelitian dalam memprediksi dampak dari pencemaran perairan adalah ikan zebra. Zebrafish (*Danio rerio*) merupakan ikan air tawar yang mendapat banyak perhatian dalam beberapa tahun terakhir dan telah dikembangkan sebagai model penelitian. Keunggulan ikan zebra dibandingkan model penelitian lainnya adalah ia memiliki embrio transparan dan genetiknya mudah dimanipulasi. Penelitian ikan zebra terutama ditujukan untuk penelitian perkembangan dan dapat digunakan sebagai model untuk penelitian fisiologis (William et al., 2017). Hubungan respons dosis pada ikan zebra embrionik yang terpapar 0,05-50  $\mu\text{g L}^{-1}$  parasetamol mengungkapkan bahwa dosis 0,1  $\mu\text{g L}^{-1}$  atau lebih tinggi memicu kelainan yang berbeda. Efek maksimum dicapai pada konsentrasi yang lebih besar dari 5  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Kelainan yang paling umum terlihat pada populasi terpapar adalah kantung kuning telur, pertumbuhan terhambat, dan deformasi tulang belakang. Hubungan respon dosis kematian menunjukkan bahwa semua dosis menghasilkan tingkat kematian yang lebih tinggi secara signifikan; namun demikian, datanya sangat bervariasi antar dosis (Galus et al., 2020).

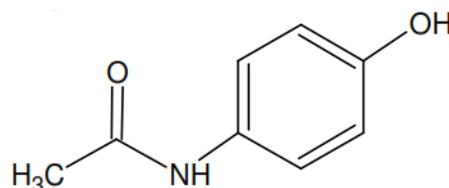
## 2.2 Parasetamol

Parasetamol (PA) adalah obat yang banyak digunakan. Ini adalah obat penghilang rasa sakit ringan (analgesik) dan mengurangi suhu pasien dengan demam (antipiretik). Obat ini ditemukan pada pertengahan 1940-an (Giri, 2017). *Acetanilide*, *phenacetin*, dan *acetaminophen* adalah analgesik ringan dan antipiretik dan penting, bersama dengan *aspirin*, dalam banyak obat non-resep. Sementara beberapa menggunakannya untuk pereda nyeri otot dan sendi, gejala pilek dan flu, sakit kepala umum, antipiretik, fungsi anti-inflamasi, yang lain membencinya karena kemampuannya untuk menyebabkan komplikasi ginjal dan hati dalam tubuh manusia (Kingsley Ogemdi, 2019).

Pada tahun 1886, asetanilida secara tidak sengaja ditemukan sebagai antipiretik yang efisien. Profesor Kussmaul dari Departemen Penyakit Dalam di Universitas Strassburg meminta dua asistennya untuk memberikan naftalena sebagai obat cacangan. Cahn dan Hepp secara tidak sengaja mencampurkan sebotol asetanilida dan sebotol naftalena saat mengevaluasi naftalena sebagai obat *vermifuge* pertolongan pertama (zat yang mengusir cacangan). Cacangan pasien tidak hilang, tetapi demamnya hilang, dan cepat hilang. Karena sangat murah untuk

dibuat, dengan cepat dimasukkan ke dalam produksi dan terus digunakan selama beberapa tahun. Namun, itu menghasilkan efek samping yang signifikan yang menyebabkan beberapa hemoglobin dalam sel darah merah dinonaktifkan. Namun, itu memiliki efek samping yang serius yang melibatkan penonaktifan beberapa hemoglobin dalam sel darah merah. Pembatasan telah ditempatkan pada penggunaannya karena kerusakan ginjal pada pengguna jangka panjang (Kingsley Ogemdi, 2019).

Parasetamol (acetaminophen atau N-acetyl-4-aminophenol), adalah agen analgesik dan antipiretik yang populer, dengan formula struktural seperti pada **Gambar 2.1** berikut.



**Gambar 2.1** Struktur Parasetamol (Rumus Molekul  $C_8H_9NO_2 = 151.2$ ) (Ahmed, 2019)

*Acetaminophen* adalah obat pereda nyeri (analgesik) dan pereda demam (antipiretik) yang dijual bebas (Obat yang dijual langsung ke konsumen tanpa resep dari ahli kesehatan, berbeda dengan obat resep, yang hanya dapat dijual ke konsumen memiliki resep yang sah) (Kingsley Ogemdi, 2019). Pada **Tabel 2.2** dijelaskan tentang beberapa sampel parasetamol dalam berbagai produk, seperti tablet, sirup, tetes dan supositoria (Ahmed, 2019).

**Tabel 2.2** Penentuan parasetamol dalam formulasi farmasi (Ahmed, 2019)

Formulasi Farmasi	Kuantitas Label, mg	Ditemukan, mg	(Recovery%)*
<i>Colden Tablet</i> (NDI)	450 mg/tab	451.8	100.40
<i>Antipasmine Tablet</i> (NDI)	350 mg/tab	349.65	99.90
<i>Flu-out tablet</i> (HPI)	350 mg/tab	349.58	99.88
<i>Algesic tablet</i> (HPI)	350 mg/tab	348.0	99.42
<i>Paracetamol tablet</i> (HPI)	500 mg/tab	495.6	99.12
<i>Paradin tablet</i> (NDI)	325 mg/tab	328.4	101.04
<i>Antipyrol Syrup</i> (NDI)	120 mg/5 mL	119.0	99.16
Formulasi Farmasi	Kuantitas Label, mg	Ditemukan, mg	(Recovery%)*
<i>Antipyrol drop</i> (HPI)	100 mg/mL	99.3	99.30
<i>Coldin Syrup</i> (NDI)	120 mg/5 mL	122.2	101.83
<i>Anti pyrol Suppositories</i> (HPI)	120 mg/supp	121.1	100.91
	250 mg/supp	248.5	99.40
	500 mg/supp	496.5	99.38
	mg/supp		

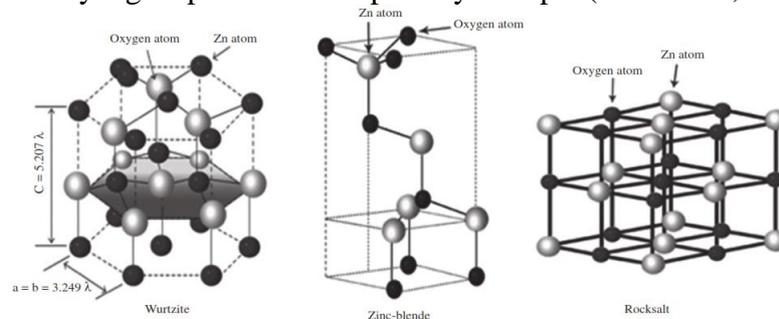
\*Mean dari enam penentuan

Ini adalah jenis obat yang berbeda dari penghilang rasa sakit yang dijual bebas, seperti *ibuprofen* dan *naproxen*, yang juga digunakan untuk mengatasi rasa sakit dan demam. *Acetaminophen* tersedia dalam bentuk pil, cairan, injeksi, dan supositoria rektal, dan sering digunakan untuk demam dan ketidaknyamanan anak dan dewasa. *Acetaminophen* umumnya disebut sebagai "parasetamol" di luar Amerika Serikat dan Kanada dan digunakan untuk tujuan yang sama (Kingsley Ogemdi, 2019).

### 2.3 Zinc Oxide (ZnO)

*Zinc Oxide* (ZnO) adalah oksida logam berbasis semikonduktor di dunia material dan menemukan aplikasi potensial dalam kosmetik, elektronik, dan industri farmasi dan karet karena sifatnya yang unik (Manivannan et al., 2022). ZnO adalah oksida logam transisi dan semikonduktor dengan energi ikat yang tinggi, memungkinkan untuk menjadi sangat oksidatif. Sebagai mekanisme aksi bakterisida, reaksi ini menghasilkan spesi oksigen reaktif (Mendes et al., 2022). ZnO telah menarik banyak perhatian dalam beberapa tahun terakhir. Karena piezoelektriknya yang baik, celah pita yang sangat lebar (3,3 eV pada 300 K), energi ikat eksiton yang besar (60 meV), mobilitas pembawa yang tinggi, dan metode suhu rendah, bahan semikonduktor ini mendapatkan banyak minat (Chuan, 2014).

Kelebihan ZnO dari semikonduktor lainnya adalah bisa dioperasikan dalam lingkungan yang keras dan bersuhu tinggi serta resistansi yang lebih tinggi dari semikonduktor lainnya dalam keadaan radiasi energi tinggi (Pardede, 2018). Penggunaan fotokatalis semikonduktor untuk menghilangkan polutan beracun dan organik adalah metode yang menjanjikan. Karena fitur luar biasa dari stabilitas fisik dan kimia, biaya rendah, dan tidak beracun, ZnO adalah salah satu semikonduktor yang paling umum digunakan. Namun, ZnO memiliki beberapa kelemahan, seperti celah pita yang besar, yang berarti hanya menyerap sinar UV dan memiliki efisiensi kuantum yang rendah. Akibatnya, salah satu tugas tersulit dalam penelitian ZnO adalah membangun fotokatalis yang responsif terhadap cahaya tampak (Thi & Lee, 2017).



**Gambar 2.2** Struktur kristal ZnO *wurtzite* (koordinasi tetrahedral ZnO), *zinc blende*, dan *rocksalt* (Ali et al., 2018)

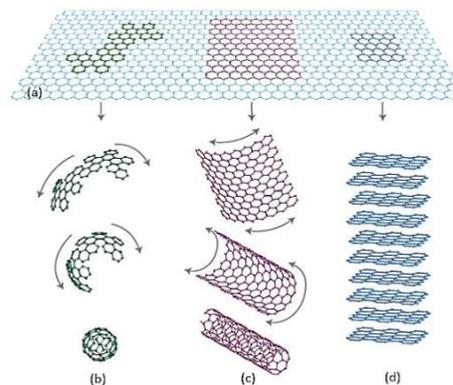
Seng (*Zinc*) tidak ada secara bebas di alam. Biasanya ditemukan dalam keadaan oksidasi +2. Mineral seng yang dominan adalah *zincite* (seng oksida), *smithsonite* (seng karbonat), dan *sflerit* (seng sulfida). Hampir 55 mineral seng ada di alam. Senyawa seng penting lainnya termasuk seng fluorosilikat ( $ZnSiF_6$ ), seng hidrosulfit ( $ZnS_2O_4$ ), seng sulfat ( $ZnSO_4$ ), seng fluorida, seng hidrida, seng nitrat, seng amonium nitrit, seng sianida, seng permanganat, dan seng klorat, dll (Ali et al., 2018).

ZnO memiliki tiga struktur kristal utama: *Hexagonal wurtzite*, *zinc blende*, dan *Rocksalt* yang diamati secara berkala. *Wurtzite* adalah ZnO yang paling umum dan stabil secara termodinamika struktur pada kondisi lingkungan. Struktur *zinc blende* adalah metastabil yang dapat distabilkan dengan menumbuhkan ZnO pada substrat dengan struktur kisi kubik. Struktur

kristal tersebut dengan geometri tetrahedral ditunjukkan pada Gambar 2.2, di mana lingkaran hitam dan abu-abu keputihan menunjukkan atom Zn dan oksigen, masing-masing, untuk *Wurtzite*, sedangkan lingkaran hitam dan abu-abu keputihan masing-masing menunjukkan atom O dan Zn, untuk seng. campuran dan struktur garam batu. Pada tekanan yang relatif tinggi sekitar 10 GPa, ZnO berubah menjadi desain *rocksalt* (Ali et al., 2018).

. Grafena

Grafena dapat dikatakan sebagai dasar dari berbagai polimorf karbon lainnya seperti fullerenes 0D dengan melipatnya seperti **Gambar 2.3(b)**, nanotube 1D dengan membungkusnya seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.3(c)**, dan grafit 3D dengan menumpuk. dasar dari. Mereka seperti dapat dilihat pada **Gambar 2.3 (d)**. Berikut adalah bentuk-bentuk polimorf karbon (Nugraheni et al., 2017).



**Gambar 2.3** Beberapa bentuk Polimorf Karbon (a) Grafena, (b) Fullerenes, (c) Nanotubes, dan (d) Grafit (Nugraheni et al., 2017)

Grafena adalah material 2D yang sedang naik daun dengan fleksibilitas yang baik, luas permukaan yang besar, konduktivitas listrik yang sangat baik, dan aktivitas permukaan yang tinggi. Dengan demikian telah dianggap sebagai bahan membran yang ideal, terutama untuk desalinasi (Zhang et al., 2022).

#### 2.4 Reduced Graphene Oxide (rGO)

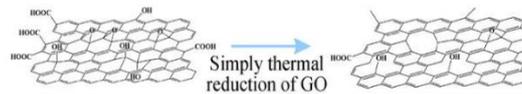
Struktur *reduced Graphene Oxide* yang berbentuk heksagonal, menyebabkan *reduced Graphene Oxide* memiliki sifat yang baik antara lain mobilitas muatan yang tinggi ( $230,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ) dengan 2.3% kemampuan penyerapan cahaya, konduktivitas termal yang tinggi ( $3000 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ), kekuatan tarik tertinggi (130 GPa), dan luas permukaan yang besar ( $2600 \text{ m}^2/\text{g}$ ) (Singh et al., 2011). Pengurangan oksigen dan hidrogen untuk memproduksi *Reduced Graphene Oxide* (rGO), adalah proses yang sangat penting karena memiliki dampak besar pada kualitas grafena oksida yang diproduksi yang mempengaruhi sifat fisik dari rGO (Nugraheni et al., 2017).

Pada penelitian kali ini, digunakan metode *modified hummer's*. Awalnya, metode *Hummer* menarik banyak perhatian pada awalnya karena efisiensinya yang tinggi dan keamanan reaksi yang baik. Namun, ada beberapa kelemahan yang cukup signifikan: (1) sisa ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  sulit dihilangkan dari air limbah yang terbentuk dari proses sintesis dan pemurnian GO dan (2) prosedur oksidasi melepaskan gas beracun seperti  $\text{NO}_2$  dan  $\text{N}_2\text{O}_4$ ; (J. Chen et al., 2013). Akibatnya, banyak upaya telah diarahkan untuk mengembangkan metode sintesis GO yang ramah lingkungan.

Peningkatan efisiensi proses oksidasi grafit dapat dilakukan melalui peningkatan jumlah  $\text{KMnO}_4$ , melakukan reaksi dalam campuran 9:1 dari  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_3\text{PO}_4$ , dan menghilangkan  $\text{NaNO}_3$ . Metode yang ditingkatkan ini memberikan jumlah material graphene teroksidasi hidrofilik yang lebih besar dibandingkan dengan *Hummer's method* klasik dengan tambahan

KMnO<sub>4</sub>. Dubey dkk. melakukan modifikasi dengan mensintesis GO dengan membentuk *expanded graphite* (EG) melalui interkalasi dengan senyawa HNO<sub>3</sub> dan bantuan microwave. (Dubey et al., 2022).

Lapisan dari rGO biasanya mengandung lebih sedikit oksigen akibat pengurangan yang dapat dilakukan dengan penyayatan menggunakan ultrasonik. Proses reduksi termal yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5** (Scrafford et al., 2013).



**Gambar 2.4** Proses reduksi termal grafena oksida menjadi rGO (Scrafford, 2013)

Lapisan dari rGO biasanya mengandung lebih sedikit oksigen akibat pengurangan yang dapat dilakukan dengan

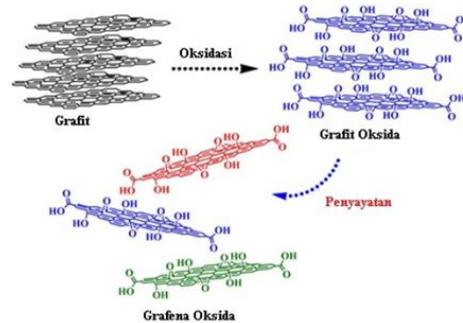
#### 2.4.1 Grafena Oksida

Grafena oksida (GO) adalah produk yang dihasilkan dari migrasi air yang mirip grafit dan daerah teroksidasi dan penyaringan molekul yang sangat efisien secara bersamaan. Karena GO terdispersi dalam air dan banyak pelarut polar lainnya, GO dapat dengan mudah diproduksi menjadi bahan membran laminasi untuk pemisahan nanofiltrasi menggunakan prosedur pemrosesan larutan (Zhang et al., 2022).

Salah satu jenis grafit yaitu grafit oksida yang mempunyai struktur hampir sama dengan grafit, tetapi atom pada grafit oksida lebih beragam karena tidak adanya oksigen pada karbon yang membuat hanya jarak antar lapisan semakin lebar tetapi juga menambah ketebalan atom semakin membesar (Nugraheni et al., 2017).

Grafena oksida (GO) adalah produk yang dihasilkan dari migrasi air yang mirip grafit dan daerah teroksidasi dan penyaringan molekul yang sangat efisien secara bersamaan. Karena GO terdispersi dalam air dan banyak pelarut polar lainnya, GO dapat dengan mudah diproduksi menjadi bahan membran laminasi untuk pemisahan nanofiltrasi menggunakan prosedur pemrosesan larutan. Kesenjangan interlayer 2D antara lembar nano GO dapat digunakan sebagai saluran nano untuk memungkinkan air melewatinya sementara spesies yang lebih besar ditolak. Pengayakan molekuler selektif ukuran juga dapat dicapai dengan menyesuaikan jarak antar lapisan nanosheet GO. Namun, karena nanosheet GO sangat hidrofilik, mereka menyebabkan pembengkakan yang tidak terkendali dan stabilitas membran yang buruk dalam air (Zhang et al., 2022).

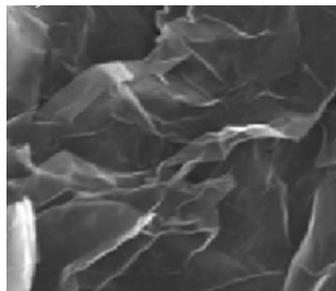
Proses konversi *graphene oxide* dapat menyebabkan kerusakan serius pada lapisan graphene, selanjutnya mempengaruhi reduksi senyawa (oksigen dan hidrogen). Graphene oxide mengandung beberapa lapisan tunggal graphene (tergantung pada medium dasar) dengan ikatan heksagonal antara karbon dan oksigen dan hidrogen. Proses terbentuknya struktur GO dari grafit ditunjukkan pada **Gambar 2.4** (Nugraheni et al., 2017).



**Gambar 2.5** Proses pembentukan struktur *Graphene Oxide* (GO) dari grafit(Nugraheni et al., 2017).

#### 2.4.2 Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

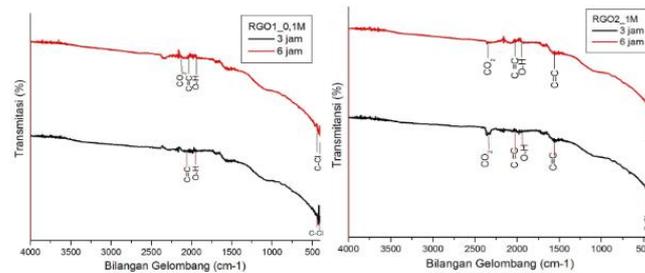
*Scanning Electron Microscope* (SEM) dari grafena menunjukkan morfologi lembaran transparan. Bentuk lapisan graphene dapat dilihat melalui SEM, dan permukaan graphene terkadang memiliki lipatan dan lipatan. Ukuran butir rGO lebih homogen, rata-rata sekitar 10 sampai 20 m, yang membuat tampilan SEM GO dan rGO berbeda. Permukaan butiran rGO menghasilkan struktur berpori, tetapi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12, permukaan butiran GO relatif lebih halus daripada permukaan butiran rGO(Drewniak et al., 2016). Permukaan lapisan grafena dapat terlihat di **Gambar 2.6**.



**Gambar 2.6** Hasil SEM dari permukaan grafena(Drewniak et al., 2016).

#### 2.4.3 Pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

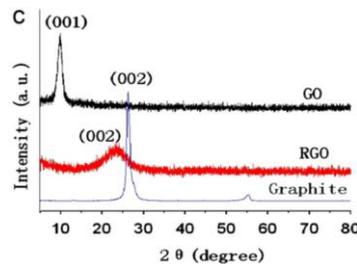
Analisis ikatan molekul dari Reduced Graphene Oxide (rGO) dapat dilakukan dengan karakterisasi Fourier Transform Infra-Red (FTIR). Ikatan - ikatan molekul yang muncul ditunjukkan dengan adanya puncak - puncak transmisi dari pola grafik FTIR. Masing masing ikatan molekul memiliki bilangan gelombang yang berbeda didasarkan pada kemampuan ikatan molekul yang bergetar dan menyerap energi dari spektrum infra merah. Hasil pola grafik FTIR dari seluruh variasi secara kualitatif ditunjukkan bahwa teridentifikasi ikatan-ikatan molekul utama yang dimiliki oleh rGO yaitu berupa ikatan C=C dan O-H. Kedua ikatan tersebut saling berikatan dan menyebabkan terbentuknya struktur heksagonal atom karbon yang tersusun menjadi lapisan rGO. Ikatan C=C menjadi struktur dasar dari rGO yang saling berikatan dan membentuk heksagonal dimana ikatan rangkap tersebut merupakan ikatan kovalen yang terbentuk dari hibridisasi  $sp^3$  menjadi  $sp^2$  dan sulit untuk terputus dikarenakan memiliki energi ikatan yang besar(Nugraheni et al., 2017). Grafik FTIR (a,b) pada **Gambar 2.7** menunjukkan perbandingan konsentrasi rGO.



**Gambar 2.7** Grafik FTIR (a,b) perbandingan konsentrasi rGO(Nugraheni et al., 2017)

#### 2.4.4 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Pada pengujian XRD, ditemukan perbedaan puncak antara grafit, GO, dan grafena. Grafik tersebut ditunjukkan pada gambar 2.11



**Gambar 2.8** Pola XRD pada grafit, GO, dan rGO(Liu et al., 2013)

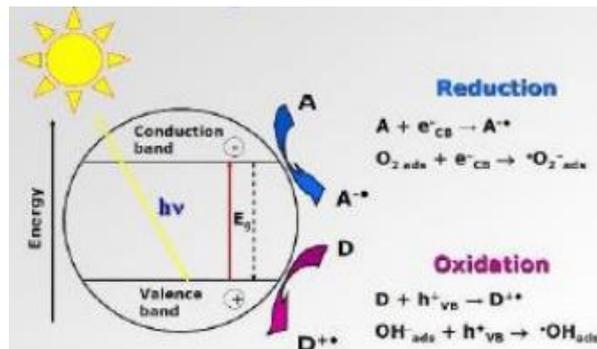
Pada daerah  $2\theta = 26.4^\circ$ , Grafit menunjukkan puncak yang tajam, karena grafit merupakan kristalin, begitu pula untuk *Graphene Oxide (GO)* yang menunjukkan puncak tajam namun lebih landai dari grafit karena menunjukkan fasa semi kristalin, ditunjukkan pada daerah  $2\theta = 10.56^\circ$ . Kemudian puncak rGO menunjukan lebih landai karena sudah *amorphous*, dimana daerah ini ditunjukkan pada  $2\theta = 25.11^\circ$ . Jarak interlayer yang diperoleh untuk grafit, GO dan grafena adalah  $3,36 \text{ \AA}$ ,  $8,37 \text{ \AA}$ ,  $3,54 \text{ \AA}$ (Liu et al., 2013).

### 2.5 Fotokatalis

Istilah fotokatalisis terdiri dari dua kata: foto dan katalis. Foto dapat didefinisikan sebagai seberkas cahaya, sedangkan katalis adalah zat kimia yang mempercepat reaksi. Fotokatalisis dapat didefinisikan sebagai metode penggunaan katalis untuk mempercepat reaksi yang terjadi dengan adanya cahaya.. Fotokatalis berbeda dari katalis termal tradisional karena memerlukan energi aktivasi dalam bentuk panas untuk memulai reaksi katalitik. Fotokatalis, di sisi lain, terdiri dari foton pembawa energi(Pardede, 2018).

#### 2.5.1 Reaksi Fotokatalitik

Reaksi fotokatalitik adalah reaksi kimia di mana cahaya dan zat fotokatalis digunakan. Konsep penting dari reaksi ini adalah bahwa radiasi dengan panjang gelombang yang benar mengaktifkan bahan semikonduktor. Metode ini umumnya digunakan dalam menghilangkan zat yang dianggap kontaminan atau polutan(Kamat, 2012). Mekanisme fotokatalis dan reaksi redoks pada reaksi fotokatalitik bekerja ditunjukkan pada **Gambar 2.9**.



**Gambar 2.9** Mekanisme fotokatalis dan reaksi redoks pada reaksi fotokatalitik bekerja (Kamat, 2012)

Pembentukan  $OH^-$  radikal dan spesies anion superoksida dari oksigen adalah mekanisme fotokatalis secara umum. Ketika fotokatalis menyerap cahaya dengan panjang gelombang tertentu, ia memperoleh energi. Energi ini akan digunakan untuk memindahkan elektron dari pita valensi (Valence Bands) ke pita konduksi (Conduction Bands) (Kamat, 2012).

Sintesis  $OH^-$  dan radikal dari oksigen, serta pembentukan anion superoksida, adalah bagian dari proses ini ( $O_2^-$ ). Ketika fotokatalis menyerap cahaya dengan panjang gelombang tertentu, mereka memperoleh energi. Energi ini akan digunakan untuk memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi (CB) (CB). Setelah elektron tereksitasi, pita valensi akan terisi lubang. Hole adalah pembagi air yang menghasilkan radikal hidroksil, yang bereaksi dengan senyawa organik untuk memecahnya menjadi intermediet yang kemudian dapat diproses lebih lanjut. Elektron yang tereksitasi bereaksi dengan oksigen untuk membentuk spesies ion oksida secara berlebihan. Ketika anion superoksida bereaksi dengan bahan kimia yang dihasilkan selama pemecahan molekul organik, mereka menghasilkan produk.

### 2.5.2 Analisis Fotodegradasi

Pengukuran absorbansi sampel dilakukan dengan spektroskopi UV-Vis (UV-Vis, USA Model GENESYS™ 10S) dengan kuarsa kuvet menggunakan koreksi dasar, kecepatan pemindaian sedang dan interval titik data 1 nm. Absorbansi maksimum larutan APAP (0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 1,0, 5,0 dan 10,0 mg/L dalam air) ditemukan pada  $\lambda_{maks} = 243$  nm. Konsentrasi larutan APAP sebelum dan sesudah adsorpsi dan perlakuan fotokatalitik ditentukan dengan menggunakan kurva kalibrasi yang diperoleh. (Thi & Lee, 2017) Efisiensi penyisihan dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$Removal\ Efficiency\ (\%) = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

dimana  $C_0$  (mg/L) adalah konsentrasi larutan APAP pada waktu awal  $t = 0$  (menit), dan  $C$  (mg/L) adalah konsentrasi setelah reaksi perlakuan dalam kondisi gelap atau setelah penyinaran cahaya tampak (Thi & Lee, 2017).

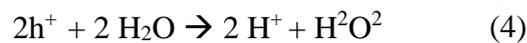
### 2.5.3 Reaksi Fotokatalitik

ZnO adalah semikonduktor pita lebar yang telah digunakan sebagai *photocatalyst* untuk degradasi polutan dalam air atau air limbah. Keterbatasan utama penggunaan ZnO adalah kebutuhan untuk menggunakan iradiasi sinar UV karena celah pitanya yang lebar. Kelemahan atau pembatasan ZnO ini ditingkatkan oleh La doping ke dalam kisi ZnO, yang mengakibatkan penyempitan celah band. Dengan demikian, *La-doped* ZnO dapat dengan mudah menyerap foton dari sumber cahaya tampak, dan elektron dari VB berpindah ke CB semikonduktor, menghasilkan pasangan elektron-lubang ( $e^-$  dan  $h^+$ ) yang ditunjukkan dalam persamaan (2). Lubang-lubang di VB dapat membentuk radikal hidroksil ( $OH^\bullet$ ) melalui reaksi oksidatif yang ditunjukkan dalam persamaan (3-5), dan elektron di CB dapat menciptakan anion radikal oksida

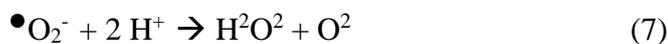
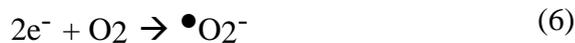
super ( $\bullet\text{O}_2^-$ ) melalui reaksi reduktif yang ditunjukkan dalam persamaan (6-8).  $\text{OH}\bullet$  dan  $\bullet\text{O}_2^-$  keduanya oksidan kuat untuk mengoksidasi senyawa organik  $\text{O}_2^-$  memiliki potensi reduksi yang cukup untuk mengoksidasi spesies organik dengan kelompok donor elektron yang kuat (seperti ikatan azo aktif,  $-\text{N}=\text{N}-$  ikatan, dll ...) dan  $\text{OH}\bullet$  cenderung abstrak hidrogen atau menyerang ikatan tak jenuh C-C. Dengan demikian, polutan model yang mengandung ikatan C-C tak jenuh seperti *Acetaminophen* (APAP) dapat dengan mudah teroksidasi fotokatalitik atau diserang dengan pembentukan  $\text{OH}\bullet$  (Thi & Lee, 2017)



#### 1. Reaksi Oksidasi

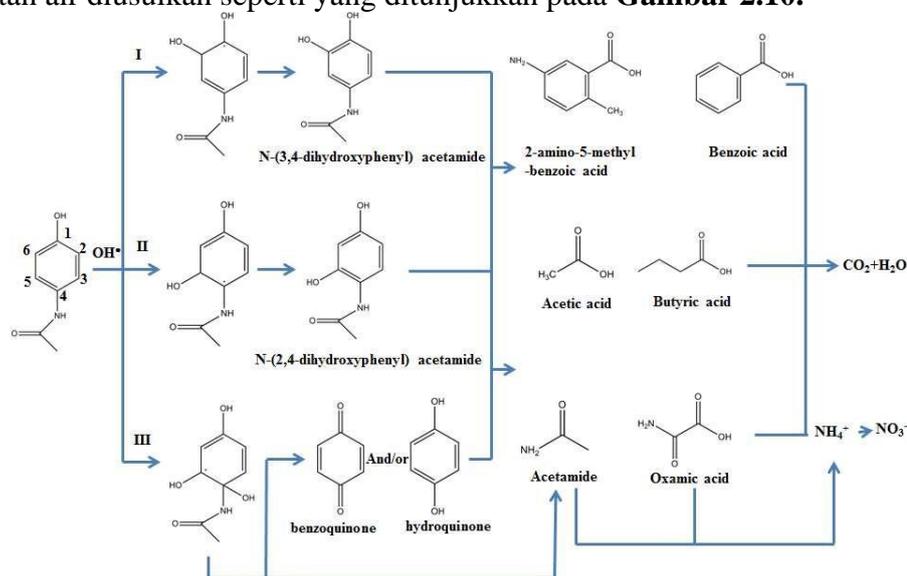


#### 2. Reaksi reduksi dengan $\text{O}_2^-$



3. Dengan adanya  $\text{OH}\bullet$ , degradasi APAP terjadi dengan cepat. Hasil analisis TOC menunjukkan bahwa 85% dari total karbon organik termineralisasi penuh setelah 180 menit di bawah penyinaran cahaya tampak, menunjukkan bahwa beberapa reaksi antara atau produk sampingan terbentuk selama degradasi fotokatalitik APAP.

4. Berdasarkan struktur kimia senyawa yang terdeteksi oleh analisis GC-MS, rute reaksi untuk degradasi APAP oleh ZnO yang didoping-La dengan sistem cahaya tampak dalam larutan air diusulkan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.10**.



**Gambar 2.10** Jalur yang diusulkan untuk degradasi fotokatalitik APAP dalam larutan dengan menggunakan ZnO yang didoping-La di bawah cahaya tampak (Thi & Lee, 2017)

## 2.6 Prospek Aplikasi Fotokatalis

Salah satu aplikasi dari mekanisme fotodegradasi limbah parasetamol ini adalah adanya sebuah reaktor fotokatalitik terapan UV-LED dikembangkan untuk menghilangkan kafein dan parasetamol dari air menggunakan ZnO yang diimobilisasi pada pelet polistirene makroskopik

densitas rendah sebagai fotokatalis terapan. ZnO dalam jumlah yang berbeda diimobilisasi pada permukaan pelet polistirena dengan metode pengecoran pelarut dan dikarakterisasi dari segi kimia-fisika menggunakan adsorpsi N pada suhu  $-196^{\circ}\text{C}$ , analisis SEM dan teknik XRD. Hasil aktivitas fotokatalitik membuktikan bahwa, selama waktu iradiasi, kinerja fotokatalitik dengan reaktor unggun terapan sangat meningkatkan sehubungan dengan reaktor unggun tetap. Pengaruh parameter proses, seperti jumlah ZnO yang diimobilisasi pada pelet polistirena, laju aliran udara dan intensitas sinar UV, telah diselidiki. Hasil penelitian menunjukkan bahwa degradasi kafein sempurna dengan derajat mineralisasi sekitar 86% tercapai setelah 240 menit penyinaran UV pada pembebanan ZnO pada pelet polistirena sebesar 1,1 wt%, laju aliran udara  $144 \text{ Ncc}\cdot\text{min}^{-1}$  dan intensitas sinar UV  $13 \text{ W}\cdot\text{m}$ . Selanjutnya, fotokatalis yang dioptimalkan dapat digunakan kembali untuk beberapa siklus tanpa penurunan kinerja fotokatalitik yang substansial. Akhirnya, fotokatalis yang mengapung mampu menghilangkan parasetamol dan kafein secara simultan dari air minum dengan efisiensi yang sangat baik (Vaiano et al., 2018).

## 2.7 Penelitian Sebelumnya

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk mensintesis material yang dapat mendegradasi parasetamol secara efektif.

**Tabel 2.3** Penelitian Sebelumnya

Peneliti	Katalis	Polutan	Metode dan Variasi	Degradasi
Aminzadeh dkk. (2021) John Wiley & Sons, Ltd.	Polyaniline/ZnO nanocomposite	Acetaminophen/paracetamol	Iradiasi sinar tampak lampu 60 W. dosis katalis 50 mg	90% selama 8 jam
Vincenzo Vaiano dkk. (2018)	<i>Polystyrene Pellets (ZnO-Supported)</i>	Parasetamol dan Kafein	Dilakukan di bawah sinar UV hingga 240 menit dengan jumlah sampel ZnO-PS sama dengan 25 g dan konsentrasi polutan yang ditetapkan pada $25 \text{ mg}\cdot\text{L}$ dalam larutan volume 50 mL. Variasi pada massa ZnO sebanyak 0.2-2 wt%.	Pada Komposisi 1.1 wt% ZnO, Parasetamol terdegradasi sebanyak 86% selama 4 jam
Viet Ha-Tran Thi, Byeong-	La(Lanthanum)-Doped ZnO	Acetaminophen/Paracetamol	Menggunakan 3 bohlam fluorescent. 0,1 g fotokatalis disuspensikan dalam 100 mL Parasetamol dengan	<i>Dopant</i> La sebesar 0.5 wt%, 1.0 wt%, dan 1.5 wt%. Dicapai hasil optimum dengan 1.0 wt%

<b>Peneliti</b>	<b>Katalis</b>	<b>Polutan</b>	<b>Metode dan Variasi</b>	<b>Degradasi</b>
Kyu Lee (2017)			konsentrasi 100 mg/L dalam gelas kimia 500 mL. pada suhu 25 °C dan kecepatan <i>stirring</i> 120 rpm.	La Dopant sebesar 99 % dan 85% <i>Total Organic Carbon</i> (TOC) selama 3 jam
Maryam Awadh Al-Gharibi dkk. (2021)	Silver Nanoparticles (Ag NPs) decorated Zinc Oxide nanorods (ZnO NRs)	Acetaminophen/Paracetamol	variasi konsentrasi parasetamol 5-20 ppm dengan fotokatalis tetap. Menggunakan Cahaya Solar dengan iradiansi $\sim 1000 \text{ W/m}^2$	92% Setelah 4 jam

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu:

1. Akuades ( $H_2O$ )
2. Serbuk Grafit
3. Asam sulfat ( $H_2SO_4$ )
4. Asam fosfat ( $H_3PO_4$ )
5. Asam Nitrat ( $HNO_3$ )
6. Pottasium permanganate
7. Paracetamol
8. Asam Klorida ( $HCl$ )
9. Es batu ( $H_2O$ )
10. Serbuk zinc
11. Serbuk NaOH

#### **3.2 Alat Penelitian**

Peralatan yang digunakan pada penelitian kali ini diantaranya:

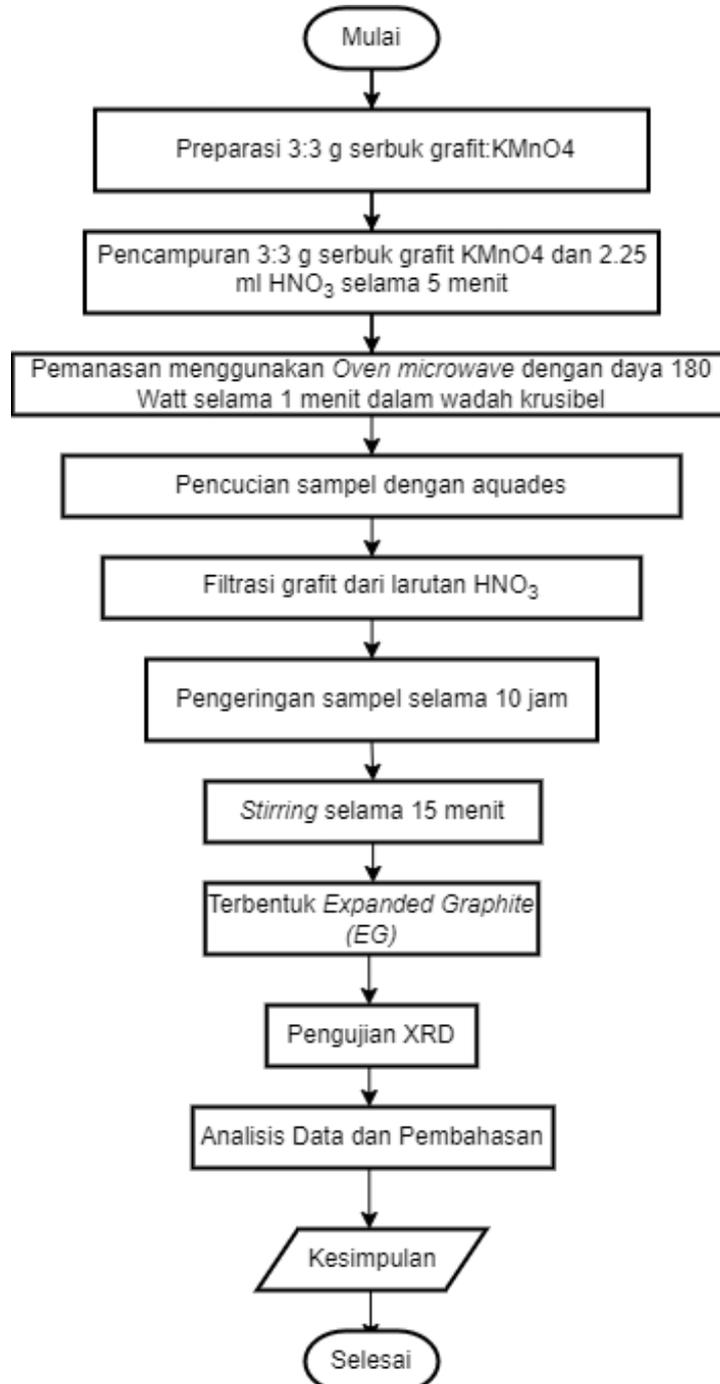
1. Mikropipet  
Pipet yang digunakan adalah mikropipet untuk mengambil larutan
  2. Neraca Analitik (*Mettler Toledo*)  
Alat ini digunakan untuk mengukur massa serbuk SBE
  3. Pengaduk (Spatula)  
Digunakan untuk mengaduk larutan
  4. Hot Plate with Magnetic Stirrer  
Alat ini digunakan untuk mencampur dan mengaduk larutan agar homogen serta untuk proses drying reduced
  5. Wadah *Ice bath*  
Wadah untuk pengadukan dalam temperatur ( $0-5^{\circ}C$ )
  6. Erlenmeyer  
Digunakan sebagai tempat larutan.
  7. Thermometer  
Digunakan untuk mengukur temperatur larutan.
  8. Lampu LED-Vis  
Digunakan untuk menyinari larutan paracetamol
  9. Gelas Beaker  
Digunakan untuk tempat aktivitas kimia
  10. Alat Maserator  
Digunakan selama proses ekstraksi pelarut menggunakan metode maserasi
  11. Kertas Saring no 42  
Digunakan untuk menyaring serbuk grafit
- Instrumen Karakterisasi Material
- a) X-ray diffraction (XRD) untuk mengetahui senyawa yang terkandung dalam suatu sampel dan struktur kristalnya.
  - b) Scanning Electron Microscope (SEM) dan EDS untuk menganalisis morfologi dan kadar unsur.
  - c) Fourier Transform Infrared untuk mengetahui jenis gugus fungsi yang terkandung pada material
  - d) UV Vis digunakan untuk mengeksplorasi sifat penyerapan cahaya dari sampel yang telah disiapkan

e) BET digunakan untuk mengetahui luas permukaan dan mesopori dari suatu material uji

### 3.3 Diagram Alir

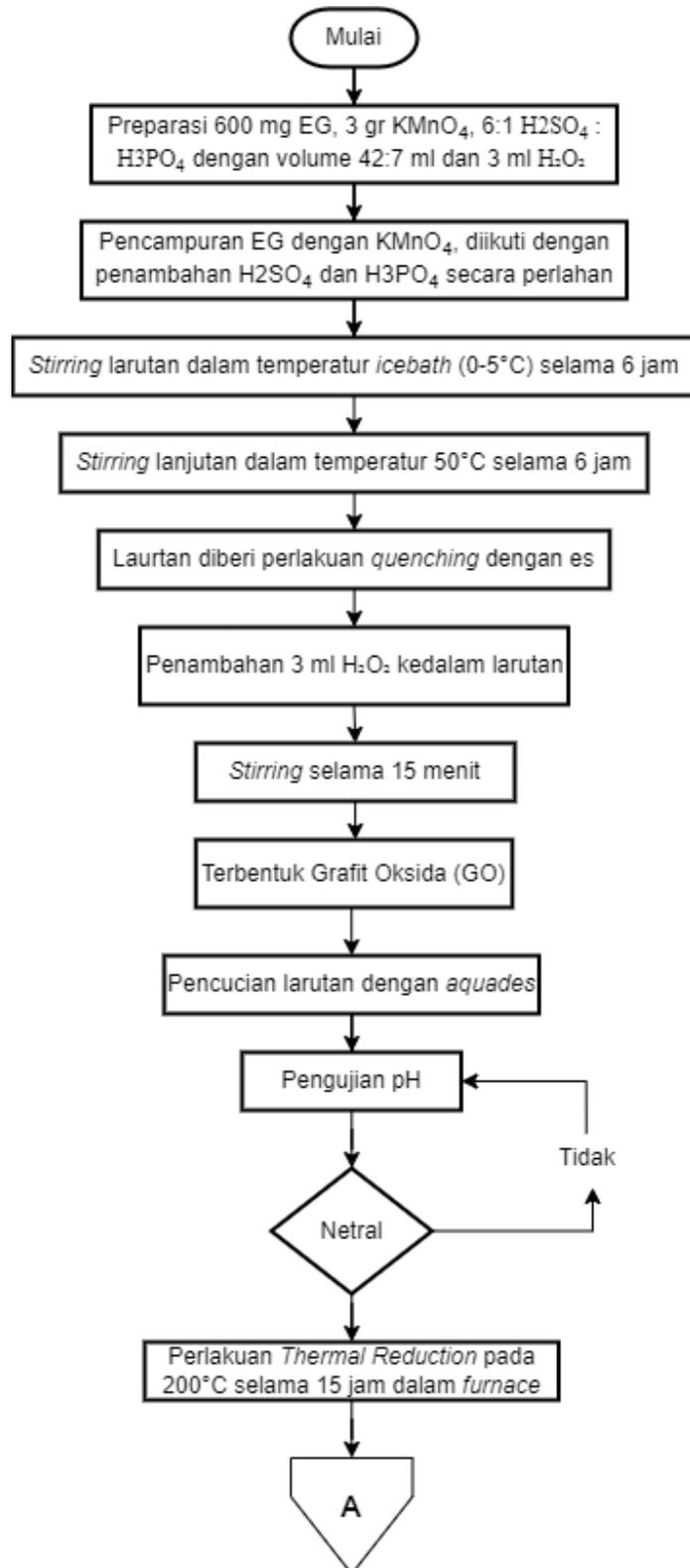
Adapun diagram alir yang digunakan pada penelitian kali, sebagai berikut:

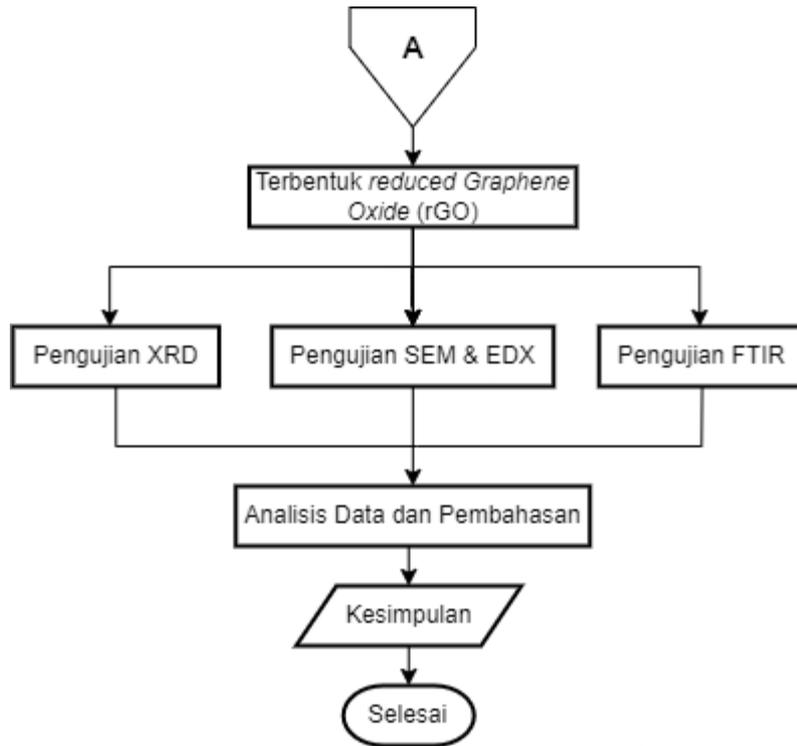
#### 3.3.1 Sintesis *Expanded Graphite*



**Gambar 3.1** Diagram Alir Sintesis *Expanded graphite* (EG)

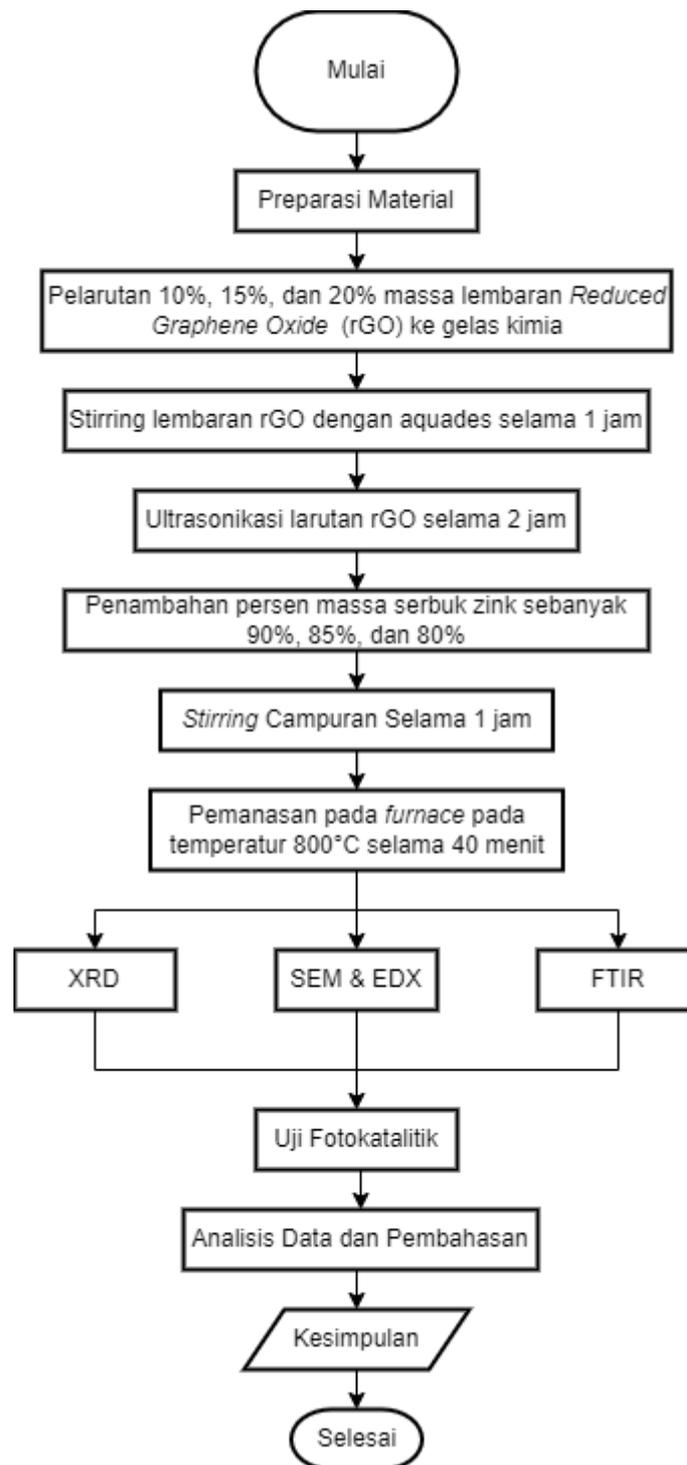
### 3.3.2 Sintesis *reduced Graphene Oxide* (rGO)





**Gambar 3.2** Diagram Alir Sintesis *reduced Graphene Oxide* (rGO)

### 3.3.3 Sintesis komposit ZnO/Reduced Graphene Oxide



**Gambar 3.3** Diagram Alir Sintesis Komposit Zinc Oxide/Reduced Graphene Oxide

### 3.4 Sintesis

Proses pembuatan senyawa kimia kompleks dari yang lebih sederhana dikenal sebagai sintesis kimia. Ini adalah metode di mana beberapa senyawa penting untuk kehidupan sehari-hari diperoleh. Ini dapat digunakan untuk membuat segala bentuk senyawa kimia, tetapi molekul organik adalah yang paling umum. Ahli kimia membuat versi sintesis dari senyawa kimia yang ditemukan di alam untuk mempelajari lebih lanjut tentang strukturnya. Ahli kimia juga dapat menggunakan sintesis untuk membuat zat yang tidak ada secara alami untuk alasan penelitian. Sintesis digunakan dalam industri untuk menghasilkan barang dalam jumlah besar (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2012).

#### 3.4.1 Sintesis *Expanded Graphite* (EG)

Serbuk grafit (3 g),  $\text{KMnO}_4$  (3 g), dan senyawa interkalasi  $\text{HNO}_3$  (2,25 ml) digunakan untuk membuat EG. Selama 5 menit, ketiga bahan tersebut digabungkan menjadi satu. Dalam wadah *crucible*, kemudian dimasak selama 1 menit dalam oven *microwave* dengan daya 180 Watt. Bahan kemudian dibilas dengan akuades dan disaring melalui kertas saring nomor 42. Bahan dikeringkan selama 10 jam setelah disaring.

#### 3.4.2 Sintesis Grafit Oksida (GO)

Komponen berikut digunakan untuk membuat GO, yakni EG (600 mg),  $\text{KMnO}_4$  (3 g),  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (42 ml), dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (7 ml).  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  terus ditambahkan setelah EG dan  $\text{KMnO}_4$  dimasukkan. Setelah tercampur, masukkan campuran ke dalam penangas es ( $0-5^\circ\text{C}$ ) selama 6 jam hingga menghasilkan dispersi hitam kehijauan. Kemudian, pada suhu  $50^\circ\text{C}$ , lanjut diaduk selama 6 jam. Sampel didinginkan dengan es setelah 6 jam.  $\text{H}_2\text{O}_2$  ditambahkan ke larutan setelah suhu menurun untuk menghilangkan sisa  $\text{KMnO}_4$ . Selama 15 menit, larutan diaduk. Setelah itu, air suling digunakan untuk membersihkan larutan.

#### 3.4.3 Sintesis *Reduced Graphene Oxide* (rGO)

Unsur rGO didapatkan setelah mendinginkan larutan grafit oksida selama beberapa hari. Akibatnya, endapan gelap terbentuk. Ulangi operasi pencucian dengan akuades sampai pH netral (mendekati 7). Setelah endapan Endapan ditempatkan dalam *crucible porcelain* untuk perlakuan *thermal reduction* pada  $200^\circ\text{C}$  selama 15 jam.

### 3.5 Pengujian

Beberapa proses karakterisasi dilakukan dalam penelitian ini untuk mendukung penelitian ini dan menentukan berhasil tidaknya penelitian ini. Jenis tes yang dilakukan akan dijelaskan pada bagian berikut.

#### 3.5.1 *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian XRD ini adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui senyawa atau unsur yang terbentuk pada sampel. Pengujian ini memanfaatkan difraksi dari sinar-X. Sinar-X merupakan salah satu bentuk radiasi elektromagnetik yang mempunyai energi antara  $200\text{ eV}-1\text{ MeV}$  dengan panjang gelombang antara  $0,5-2,5\text{ \AA}$ . Difraksi sinar-X (XRD) adalah teknik untuk menentukan struktur kristal, perubahan fasa, dan derajat kristalinitas. Difraksi sinar-X oleh atom yang tersusun dalam kristal menghasilkan pola yang berbeda tergantung pada konfigurasi atom kristal. Difraksi sinar-X, atau hamburan cahaya dengan panjang gelombang saat merambat melalui kisi kristal dengan sudut datang ( $\theta$ ) dan jarak antara bidang kristal ( $d$ ), adalah dasar dari konsep XRD.

Sudut hamburan (Bragg angle) dan intensitas diperoleh dengan menggunakan metode karakterisasi XRD. Menurut teori difraksi, sudut difraksi dipengaruhi oleh lebar celah kisi,

dan intensitas cahaya difraksi ditentukan oleh jumlah kisi kristal dengan orientasi yang sama. XRD dapat memberikan informasi umum tentang komposisi fasa dalam suatu kristal, baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Ada tiga informasi yang perlu diperhatikan yang dapat digunakan untuk meng-identifikasi fase-fase dalam suatu bahan yakni posisi sudut difraksi maksimum, intensitas puncak dan distri-busi intensitas sebagai fungsi dari sudut difraksi. Setiap bahan memiliki pola difraksi yang khas seperti sidik jari manusia. Puncak-puncak pola difraksi sinar-X berhubungan dengan jarak antar bidang. Syarat terjadinya difraksi harus memenuhi hukum Bragg pada Persamaan bragg pada Persamaan 3.1.

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (1)$$

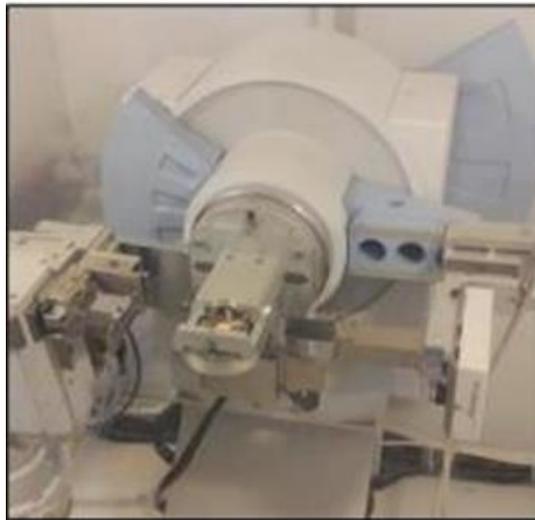
dimana,

$n$  = orde difraksi (1,2,3 ,...)  $\lambda$  = panjang sinar-X (m)

$d$  = jarak kisi (Å)

$\theta$  = sudut difraksi (radian)

Karakterisasi material menggunakan XRD menggunakan alat instrumen XRD *Malvern Panalytical's multipurpose* yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Instrumen XRD *Malvern Panalytical's multipurpose*

Data hasil keluaran XRD dapat memberikan informasi untuk melihat ukuran kristal sampel. Hal ini dapat didapatkan dengan persamaan Scherrer pada Persamaan 3.2

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \lambda} \quad (2)$$

dimana,

$D$  = Ukuran Kristal

$\lambda$  = Panjang gelombang Cu-K $\alpha$  (1.54060 Å)  $B$  = FWHM (rad)

$K$  = konstanta Scherrer dengan nilai 0.9

Karakterisasi XRD menghasilkan beberapa data baik data kualitatif maupun data kuantitatif seperti pada Tabel 3.1 Pada Tabel 3.1. dijelaskan bahwa bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafik garis yang terekam per meninya, dengan detektor dalam sudut 2 per menit. Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik (Nayiroh, 2014).

**Tabel 3.1** Informasi hasil Pengujian XRD(Nayiroh, 2014)

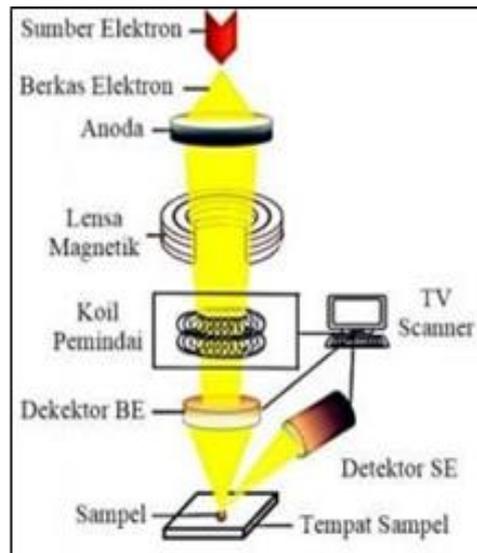
No	Karakter	Informasi dari Material
1	Posisi Puncak ( $2\theta$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fasa</li> <li>▪ Identifikasi Kristal Struktur Kristal</li> <li>▪ Parameter Kisi</li> <li>▪ Regangan Seragam</li> </ul>
2	Tinggi Puncak (Intensitas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Komposisi</li> <li>▪ Hamburan Tak koleran</li> <li>▪ Extinction</li> <li>▪ <i>Preferred orientation</i></li> </ul>
3	Lebar dan Bentuk Puncak	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ukuran kristal</li> </ul>

### 3.5.2 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi dari material tersebut. Pada prinsipnya Scanning Electron Microscopy (SEM), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.5 yang berfungsi sebagai tools (peralatan) untuk melihat struktur permukaan material dengan resolusi tinggi. Skema alat uji SEM ditunjukkan pada Gambar 3.6. Adapun cara kerja dari SEM adalah electron gun memproduksi electron beam, anoda menangkap electron beam untuk kemudian diarahkan ke sampel kemudian serangkaian lensa magnetik memfokuskan beam ini dan menembakkan ke sampel, scanner membaca struktur permukaan sampel selanjutnya menangkap sinyal dari secondary dan back scattered electron untuk dikirim ke sistem kontrol sehingga dapat dilihat gambarnya pada monitor dan dapat dicetak bila diperlukan.



**Gambar 3.5** Alat uji SEM-EDX Inspect S-50



**Gambar 3.6** Mekanisme *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

### 3.5.3 *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

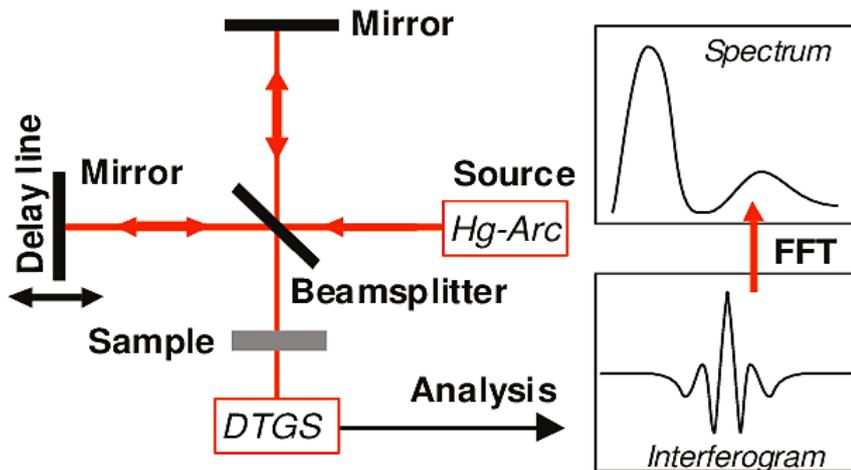
FTIR merupakan alat yang digunakan untuk melakukan analisis kualitatif yaitu untuk mengetahui ikatan kimia (gugus fungsi) yang dapat ditentukan dari spektra vibrasi yang dihasilkan oleh suatu senyawa pada panjang gelombang tertentu. Pada spektroskopi infra merah, radiasi inframerah dipancarkan mengenai sampel. Sebagian radiasi infra merah diserap oleh sampel sebagian yang lain ditransmisikan. Hasil spektrum infra merah menggambarkan penyerapan molekul dan transmisi, menggambarkan ciri khas sampel. Setiap molekul memiliki penyerapan berbeda sesuai dengan pola vibrasi dan pola ikatan antar atomnya. Tidak ada dua molekul yang menghasilkan spektrum infra merah yang sama. Oleh karena itu spektroskopi infra merah sangat berguna untuk berbagai analisis. FTIR dapat memberikan informasi mengenai material yang belum diketahui (teridentifikasi), mengenai kualitas sampel, dan mengetahui jumlah komponen dalam suatu campuran. Gambar 3.6 memperlihatkan instrumen uji FTIR.



**Gambar 3.7** Alat uji FTIR

Interaksi energi dengan materi adalah prinsip kerja spektroskopi FTIR, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8, inframerah

dipancarkan melalui interferometer dan kemudian melalui sampel; sebagian radiasi infra merah diserap oleh sampel, sementara sebagian dipancarkan kembali dan ditangkap oleh detektor. Vibrasi dapat terjadi ketika energi dari cahaya inframerah tidak mencukupi untuk detektor. Vibrasi dapat terjadi apabila energi dari sinar infra merah tidak mencukupi untuk menyebabkan atomisasi atau eksitasi elektron pada molekul senyawa yang ditembakkan, dimana besarnya energi vibrasi setiap atom atau molekul berbeda-beda tergantung pada atom dan kekuatan ikatannya. menghubungkan mereka, menghasilkan frekuensi yang berbeda. Interferogram mengubah jumlah radiasi inframerah yang ditangkap oleh detektor menjadi spektrum



Gambar 3.8 Prinsip Kerja FTIR

### 3.5.4 Spektrofotometri UV Vis

Cahaya yang dapat dilihat Spektrofotometri (UV-Vis) adalah pengukuran energi cahaya pada panjang gelombang tertentu oleh suatu sistem kimia. Spektrofotometri UV-Vis adalah studi tentang interaksi cahaya elektromagnetik dengan molekul atau atom zat kimia pada panjang gelombang sempit tertentu yang mendekati monokromatik. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa jika frekuensi cahaya elektromagnetik sama dengan frekuensi Vibrasi molekul, molekul akan selalu menyerapnya.



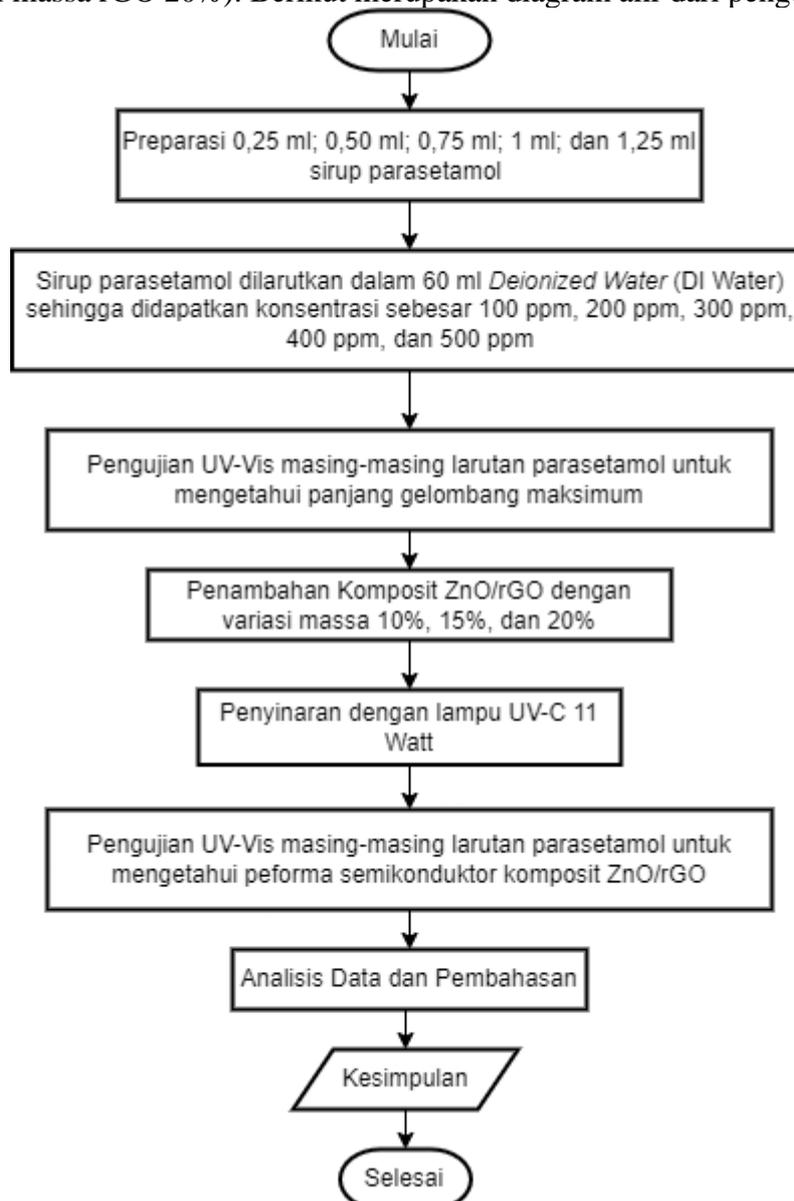
Gambar 3.9 Alat Uji UV-Vis

*Unbound and bound electrons* diaktifkan dalam rentang frekuensi yang sesuai dengan sinar ultraviolet dan cahaya tampak (UV-Vis). Pengaturan uji UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 3.9. Spektrum serapan UV-Vis diberikan sebagai spektrum elektron dan berkisar dari 220 nm hingga 800 nm. Bagian UV (190-380 nm) dari spektrum cahaya tampak ditutupi oleh spektrum ultraviolet (380-780 nm). Pengukuran spektrofotometri UV-Vis didasarkan pada

hubungan antara ketebalan sampel dan konsentrasi komponen penyerap dan pancaran radiasi elektromagnetik yang ditransmisikan (diteruskan) atau diserap. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dibuat kurva kalibrasi yang menyatakan hubungan antara berkas radiasi yang diserap (A) dan konsentrasi (C) dari sederetan zat standar yang diketahui untuk menentukan konsentrasi sampel berdasarkan serapan. data (A) sampel.

### 3.5.5 Pengujian Fotokatalis

Pengujian fotokatalis dilakukan dengan menggunakan parasetamol yang akan didegradasi dengan material ZnO, ZnOA1 (variasi massa rGO 10%), ZnOA2 (variasi massa rGO 15%) dan ZnOA3 (variasi massa rGO 20%). Berikut merupakan diagram alir dari pengujian fotokatalis:



**Gambar 3.10** Pengujian Fotokatalis

### 3.5.6 Metodologi Fotokatalis

Metodologi dari pengujian fotokatalis pada parasetamol terbagi menjadi beberapa tahapan:

#### 1. Pembuatan Larutan Baku Parasetamol

Ditentukan konsentrasi sebesar 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm, dan 500 ppm dari parasetamol dengan melarutkan sirup parasetamol dalam 60 ml *Deionized Water* (DI Water). Volume sirup parasetamol disiapkan dengan volume; 0.25 ml, 0.5 ml, 0.75 ml, 1 ml dan 1.25 ml.

#### 2. Penentuan Kurva Standar Parasetamol

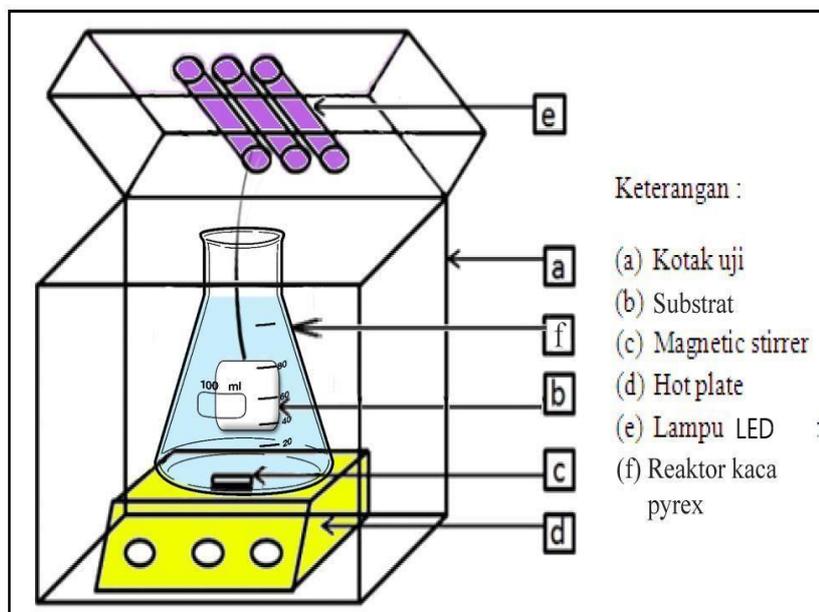
Larutan parasetamol dengan konsentrasi sebesar 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm, dan 500 ppm tersebut diukur spektrum serapan dari masing masing larutan dengan Spektrofotometer UV-Vis pada Panjang gelombang 200-400 nm. Dari spektrum serapan tersebut, kurva standar dari parasetamol dapat ditentukan.

#### 3. Degradasi Parasetamol secara Fotolisis Menggunakan Lampu LED

Proses fotodegradasi parasetamol dilakukan dengan menambahkan 0.1 g komposit ZnO/rGO dan memakai lampu UV-C 11 Watt dengan waktu per 30 menit dan 1 jam, hasil degradasi dianalisis absorbansnya dengan alat spektrofotometer pada panjang gelombang maksimum. Selama proses fotodegradasi larutan diaduk menggunakan magnetic stirrer dan disaring menggunakan kertas saring. Hasil degradasi dianalisis absorbansnya dengan alat spektrofotometer pada panjang gelombang maksimum. Hasil analisis dibandingkan antara sebelum dengan sesudah dan dapat ditentukan persentase degradasi zat warna dengan persamaan 3.. Persentase degradasi parasetamol ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\text{Persentase Degradasi} = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \% \quad (3)$$

Dimana  $A_0$  adalah nilai absorbansi awal dan  $A_t$  adalah nilai absorbansi pada waktu  $t$ . Berdasarkan hasil analisis, dibuat profil hubungan antara waktu degradasi dengan presentasi degradasi.



**Gambar 3.11** Skema Pengujian Fotokatalis

### 3.6 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian pada penelitian dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Rancangan Penelitian

Sampel	Hasil Pengujian			
	XRD	FTIR	SEM	UV-Vis
rGO	✓	✓	✓	
ZnO	✓	✓	✓	✓
rGO/ZnO 10 wt%	✓	✓	✓	✓
rGO/ZnO 15 wt%	✓	✓	✓	✓
rGO/ZnO 20 wt%	✓	✓	✓	✓

### 3.7 Jadwal Penelitian

Adapun jadwal penelitian pada penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

**Tabel 3.3** Jadwal Penelitian

Kegiatan	Bulan																				
	Februari			Maret			April			Mei			Juni			Juli					
Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Bimbingan dengan Dosen	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Persiapan Alat dan Bahan				■	■	■															
Sintesis rGO					■	■	■	■													
Sintesis ZnO/rGO							■	■	■	■											
Karakterisasi ZnO, rGO, dan Nanokomposit ZnO/rGO							■	■	■	■	■										
Pengujian Fotokatalitik								■	■	■	■										
Karakterisasi Hasil Reaksi Fotokatalitik								■	■	■	■	■	■								
Analisis Data								■	■	■	■	■	■	■							
Pembuatan Laporan																	■	■	■	■	■

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Sintesis Komposit ZnO/rGO

Langkah pertama yang dilakukan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah melakukan sintesis pada lembaran rGO (*reduced Graphene Oxide*) yang telah disintesis sebelumnya akan dipadukan dengan ZnO (*Zinc Oxide*). Sebelum pembuatan komposit, dilakukan sintesis senyawa ZnO sebagai semikonduktor agar membandingkan dengan proses degradasi dari larutan parasetamol. Serbuk zink sebanyak 2 gram dimasukkan kedalam *porcelain crucible* untuk dipanaskan di *furnace* dalam suhu 800°C selama 40 menit. Pemanasan ini bertujuan untuk mengoksidasi zink sehingga terbentuk senyawa zink oksida atau ZnO

Penelitian dimulai dari menimbang persen massa sesuai yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu 10%, 15%, dan 20%. Apabila massa total adalah 2 gram, massa yang didapat adalah 0,2 gram; 0,3 gram; dan 0,4 gram lembaran rGO. Kemudian, hasil rGO tersebut dilarutkan dengan akuades di gelas beaker sampai 80 ml. Dilanjutkan dengan proses *stirring* selama 1 jam. Setelah di-*stirring*, dilakukan ultrasonikasi selama 2 jam untuk agar rGO homogen.

Proses berikutnya dilakukan dengan menambahkan larutan dengan serbuk Zink murni sebanyak persen massa sesuai yang ditentukan. Sehingga ditambahkan 1,8 gram zink untuk ZnO/rGO 10%; 1,7 gram untuk ZnO/rGO 15%; dan 1,6 gram zink untuk ZnO/rGO 20%. Kemudian dilakukan proses *stirring* untuk mencampur zink dan rGO untuk proses komposit ZnO/rGO Terakhir, larutan tersebut dimasukkan kedalam *porcelain crucible* untuk dipanaskan di *furnace* dalam suhu 800°C selama 40 menit. Pemanasan ini bertujuan untuk membuat komposit ZnO dan rGO. Komposit ZnO/rGO ini akan digunakan sebagai semikonduktor dalam proses fotokatalitik parasetamol dan akan diuji sesuai dengan tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini. Sintesis senyawa ZnO dan komposit ZnO/rGO dengan variasi persen massa 10%, 15%, dan 20% sebagaimana ditunjukkan oleh **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2**.



**Gambar 4. 1** Hasil Sintesis *Zinc Oxide*



**Gambar 4. 2** Hasil Sintesis Komposit ZnO/rGO dengan Variasi Massa 10% rGO, Massa 15% rGO, dan 20% rGO

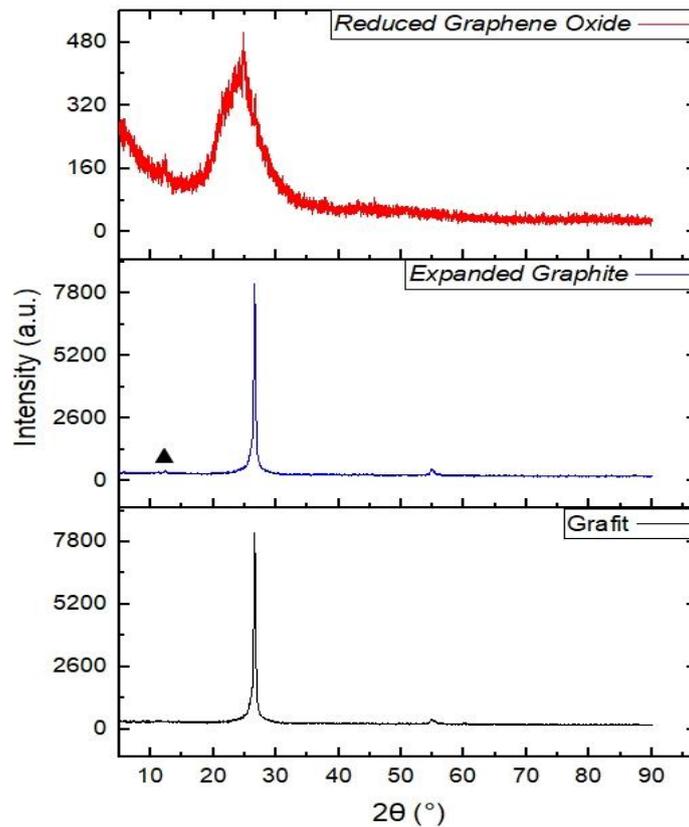
## 4.2. Analisis Hasil Pengujian

### 4.2.1. Hasil Pengujian XRD

Analisis XRD pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui unsur-unsur yang ada dalam grafit, *Expanded Graphite*, *Reduced Graphene oxide*, *Zinc Oxide*, dan komposit ZnO/rGO. Hasil pengujian XRD seluruh sampel tersebut ditunjukkan oleh **Gambar 4.3**.

Dari **Gambar 4.3** didapatkan puncak sampel grafit [002] yang menonjol pada  $2\theta = 26,63^\circ$  dengan intensitas tinggi dan nilai jarak sebesar 3,347. Sampel grafit juga menunjukkan puncak dengan struktur kristal heksagonal (JCPDS 00-025-0284). *Expanded Graphite* yang disintesis menggunakan daya microwave 180 W menampilkan struktur grafit dalam grafik XRD. Hal tersebut ditunjukkan pada puncak kecil pada  $42,4^\circ$ ,  $44,3^\circ$  dan  $54,5^\circ$  masing-masing sesuai dengan (1 0 0), (1 0 1) dan (0 0 4), juga pada puncak bertanda “▲”  $12,3^\circ$ . Puncak tersebut juga menunjukkan adanya grafit oksida.

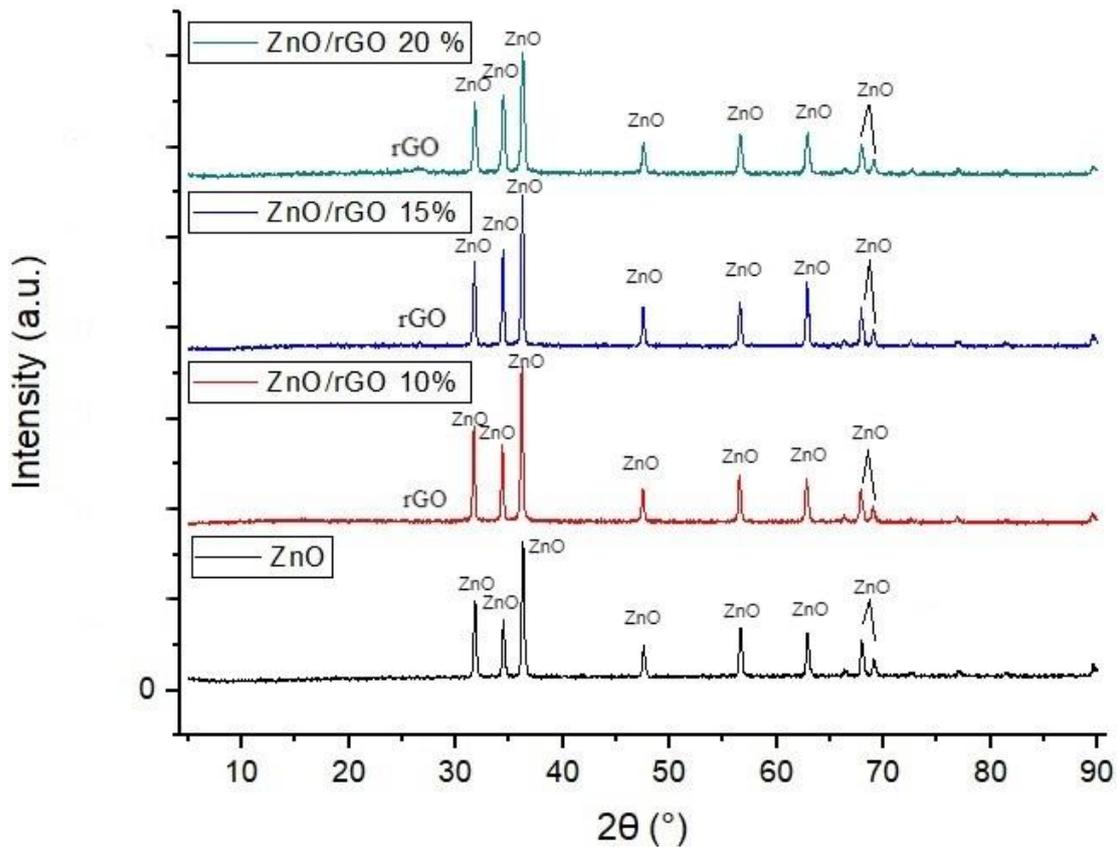
Kemudian dilakukan metode *Modified Hummer's* untuk melakukan proses oksidasi pada grafit, dari analisa ini didapatkan bahwa oksida grafit yang dihasilkan memiliki puncak [001] yang berbeda dari grafit pada posisi  $2\theta = 12,3^\circ$  dengan intensitas yang lebih rendah dari grafit dan nilai jarak yang lebih besar yaitu 7,17. Proses oksidasi pada zat grafit inilah yang menyebabkan grafit berikatan dengan oksigen membentuk oksida inilah yang menyebabkan turunnya nilai intensitas.



**Gambar 4. 3** Hasil Pengujian XRD Grafit , *Expanded Graphite* dan *Reduce graphene oxide*

Setelah dilakukan proses oksidasi, dilakukan proses reduksi dengan thermal reduction untuk mendapatkan *reduced Graphene Oxide* (rGO). Terdapat puncak pada posisi  $2\theta = 24,79^\circ$  yang menunjukkan terbentuknya rGO. Dibandingkan dengan hasil XRD *Expanded Graphite*, puncak pada posisi tersebut lebih lebar karena gugus fungsi yang mengandung oksigen mengalami pengurangan komposisi selama proses. Ini menunjukkan bahwa fasa kristal (002) (dimana terdapat puncak yang lebar) untuk rGO tersusun secara acak jika dibandingkan dengan struktur kristalisasi grafit yang tinggi, di mana terdapat puncak yang tajam dan kuat (002) dengan intensitas 480. Perbedaan jarak puncak antara GO dan RGO terjadi akibat adanya hydroxyl, epoxy dan carbonyl. Analisa ini relevan dengan studi yang dilakukan oleh Sharma dkk. pada tahun 2017 (Sharma et al., 2017).

Selanjutnya adalah **Gambar 4.4** yang menunjukkan perbedaan peak hasil uji XRD dari material ZnO, dan komposit ZnO/rGO dengan penambahan reduced graphene oxide sebanyak 5%, 10%, dan 15%.



**Gambar 4. 4** Hasil pengujian XRD senyawa ZnO dan senyawa ZnO; dan komposit ZnO/rGO 10%; ZnO/rGO 15%; dan ZnO/rGO 20%

Dari senyawa ZnO yang telah diujikan, didapatkan *peak* atau puncak yang menunjukkan adanya kandungan ZnO dalam sampel tersebut. Puncak-puncak tersebut adalah  $2\theta=31,81^\circ$  (100),  $2\theta=34,48^\circ$  (002),  $2\theta=36,29^\circ$  (101),  $2\theta=47,58^\circ$  (102),  $2\theta=56,63^\circ$  (110),  $2\theta=62,89^\circ$  (103),  $2\theta=67,93^\circ$  (200), dan  $2\theta=69,07^\circ$  (112). Puncak tersebut juga membuktikan bahwa struktur ZnO adalah *hexagonal* dengan parameter kisi  $a = 3,2420 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,2420 \text{ \AA}$ , dan  $c = 5,1880 \text{ \AA}$  sesuai dengan JCPDS No. 96-210-7060.

Untuk komposit ZnO/*reduced Graphene Oxide* yang telah diujikan, ditemukan puncak rGO pada  $2\theta=26,63^\circ$  dalam intensitas yang kecil. Ullah dkk.(Ullah et al., 2014) melakukan pengujian yang sama pada komposit ZnO/rGO dan menemukan bahwa jumlah intensitas *reduced Graphene Oxide* pada  $2\theta=26,6^\circ$  sangat kecil dan hampir tak terlihat. Hal tersebut diakibatkan oleh jumlah ZnO yang tereduksi. Pada ketiga komposit tersebut, tidak ada perbedaan secara signifikan pada puncak ZnO yang dimiliki masing-masing hasil pengujian XRD. Dari gambar tersebut Terlihat adanya perubahan FWHM (*broadening*) akibat dari penambahan variasi massa *reduced Graphene Oxide* pada grafik XRD senyawa ZnO dan komposit ZnO dengan variasi penambahan massa 5% rGO, 10% rGO, dan 15% rGO. *Broadening* ini mengindikasikan bahwa adanya perubahan *crystalline size* (ukuran kristal) yang terjadi setelah material ZnO dikompositkan dengan material *reduced graphene oxide*. Selain itu, naiknya intensitas mengindikasikan bahwa dengan naiknya %RGO maka intensitas semakin naik. Berdasarkan analisa ini dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan serta penambahan % massa meembuat perubahan ukuran kristal dan intensitas. Analisa dari penelitian ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Zainuddin pada tahun 2016(Zainuddin et al., 2018).

Pengaruh ukuran kristal pada proses fotokatalitik dapat ditentukan dengan mengetahui ukuran kristal material. Ukuran kristal dapat ditentukan melalui persamaan *Scherrer* pada **Persamaan 3.1**. Lebar luas permukaan penampang material dipengaruhi oleh ukuran kristal. Semakin besar luas penampang yang dihasilkan oleh bahan, semakin kecil ukuran kristalnya. Hasil perhitungan ukuran kristal ZnO dan rGO dari senyawa ZnO dan komposit ZnO/*reduced Graphene Oxide* ditunjukkan pada **Tabel 4.1**.

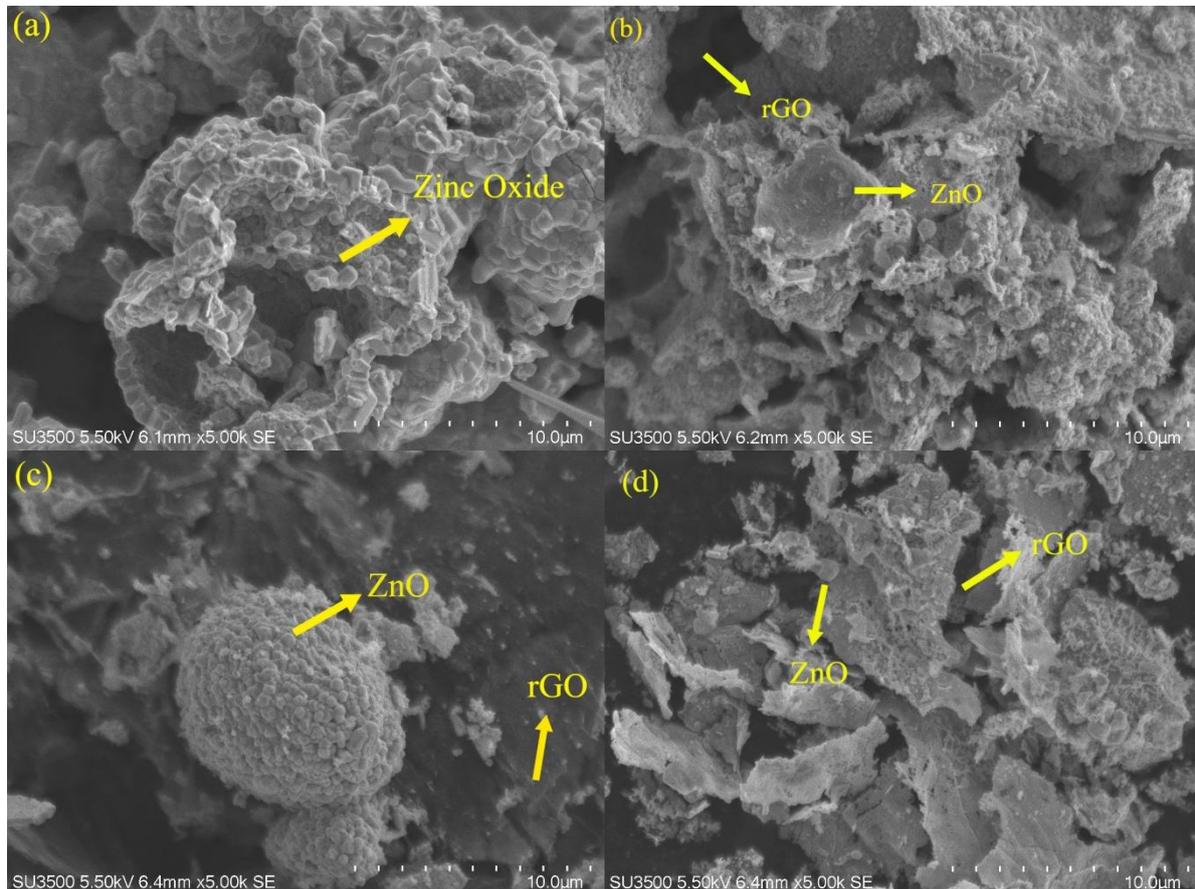
**Tabel 4. 1** Hasil Perhitungan Nilai Ukuran Kristal Sampel ZnO,

No.	Sampel	Kristal	FWHM (rad)	$2\theta^\circ$	Ukuran Kristalit (nm)
1	ZnO Murni	ZnO	0,1428	36,19	61,17
		rGO	-	-	-
2	ZnO/rGO10%	ZnO	0,2007	36,17	43,52
		rGO	0,2007	26,45	42,51
3	ZnO/rGO15%	ZnO	0,2175	36,22	40,16
		rGO	0,2007	26,63	42,51
4	ZnO/rGO20%	ZnO	0,2509	26,73	34,81
		rGO	0,3346	26,73	25,50

Untuk mengetahui ukuran kristal pada senyawa ZnO dan komposit ZnO/*reduced Graphene Oxide* maka diambil puncak tertinggi dari hasil pengujian XRD setiap variabel. Dari tabel tersebut, diketahui ukuran kristalin dari ZnO dan komposit ZnO dengan variasi penambahan massa 5% rGO, 10% rGO, dan 15% rGO berturut-turut adalah 61,17 nm; 43,52 nm; 40,16 nm; dan 34,81 nm. Dari ukuran kristalin pada sebelum penambahan *reduced Graphene Oxide* dan setelah penambahan *reduced Graphene Oxide*, ukuran kristalin ZnO menjadi lebih kecil. Jadi, dari hasil perhitungan ukuran kristalin pada senyawa ZnO dan komposit ZnO/*reduced Graphene Oxide* tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan persen massa rGO, maka ukuran kristalin dari ZnO akan semakin kecil.

#### 4.2.2. Hasil Pengujian SEM-EDX

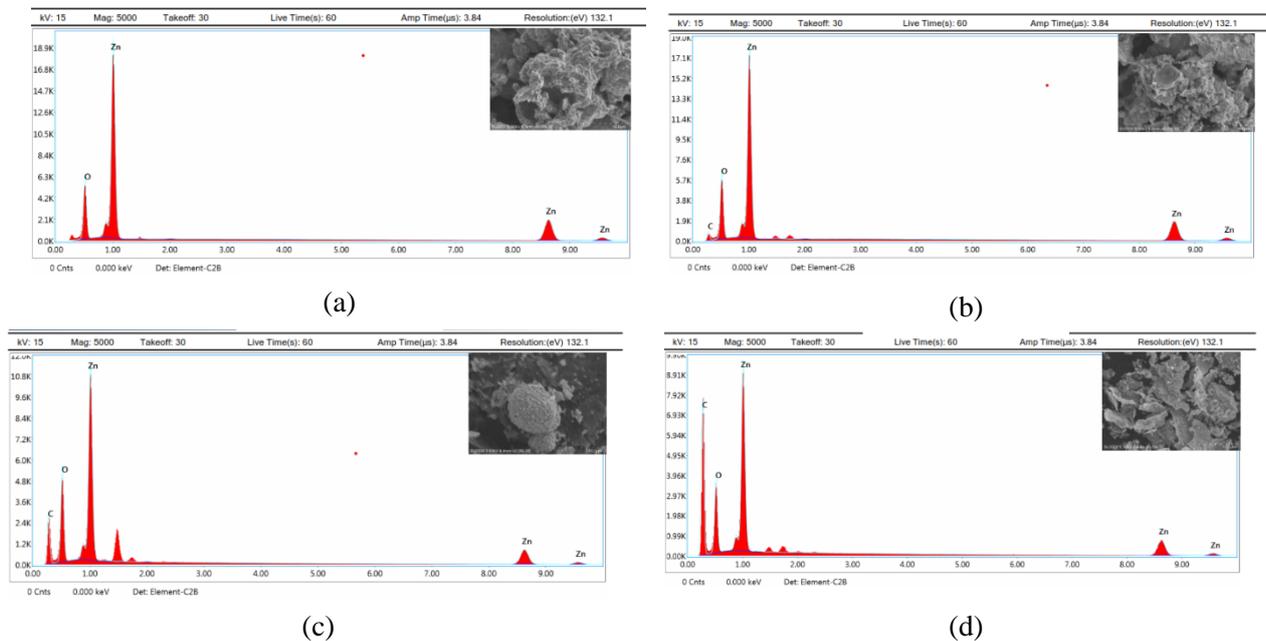
Proses selanjutnya adalah proses untuk mengetahui struktur morfologi pada senyawa ZnO dan komposit ZnO/rGO dengan Scanning Electron Microscope (SEM) yang merupakan mikroskop elektronik yang dapat mengamati suatu permukaan objek dengan perbesaran 10 - 3000000x dengan resolusi sebesar 1- 10 nm. Pengujian ini dilakukan dengan senyawa ZnO dan komposit ZnO/rGO dengan jumlah *reduced Graphene Oxide* yang bervariasi (10%, 15%, dan 20%) diamati menggunakan SEM yang ditunjukkan pada **Gambar 4.5**.



**Gambar 4.5** Hasil Pengujian morfologi dari permukaan senyawa (a)ZnO ; dan komposit (b)ZnO/rGO 10%; (c)ZnO/rGO 15%; dan (d)ZnO/rGO 20%.

Senyawa ZnO pada foto SEM tersebut tampak seperti gumpalan-gumpalan yang banyak berbentuk mirip bola. Seperti yang ditunjukkan oleh panah pada gambar 4.5 berikut, gumpalan tersebut adalah ZnO. Sedangkan, hasil pengujian morfologi pada permukaan komposit ZnO/rGO dengan variasi massa 10%, 15%, dan 20%. Pada ketiga komposit tersebut, tampak ZnO yang berbentuk spherical atau gumpalan bola, dan tampak rGO yang memiliki ciri-ciri lembaran transparan berupa lipatan sesuai dengan bagian yang telah ditandai oleh anak panah. Jumlah lipatan tersebut meningkat seiring meningkatnya persen rGO. Hal ini bersesuaian dengan studi yang dilakukan oleh Jiang pada 2018 (Jiang et al., 2018). Jumlah penambahan rGO menambah jumlah lipatan menjadi lebih banyak.

Selanjutnya dilakukan uji EDX (*Energy Dispersive Spectroscopy*) dilakukan untuk menentukan kadar unsur-unsur yang ada dalam ZnO dan sampel grafena oksida tereduksi.



**Gambar 4. 6** Hasil Pengujian EDX pada (a) Senyawa ZnO, (b) 10% rGO, (c) 15%rGO, (d) 20% rGO

**Tabel 4. 2** jumlah % Wt pada masing masing sampel

Sample	ZnO	ZnO /10% rGO	ZnO /15%rGO	ZnO/20% rGO
Element	Wt%			
OK	15.74	17.54	24.78	18.36
ZnK	84.26	75.61	50.67	37.93
CK	0	6.85	24.55	43.71

**Tabel 4. 3** jumlah % at pada masing masing sampel

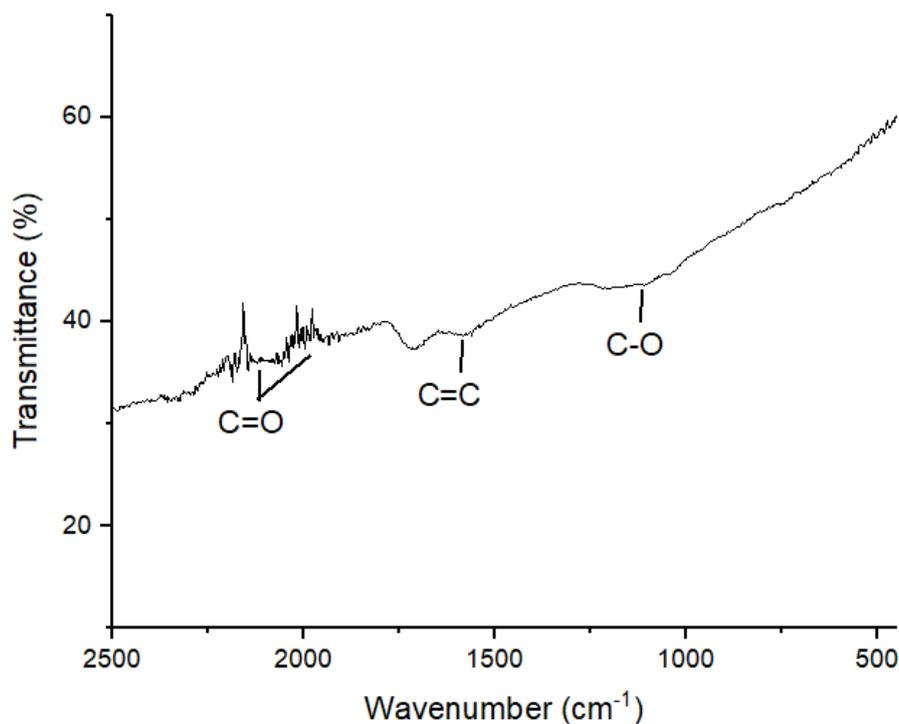
Sample	ZnO	ZnO /10% rGO	ZnO /15%rGO	ZnO/20% rGO
Element	At%			
OK	43.29	38.84	35.46	21.38
ZnK	56.71	40.96	17.75	10.81
CK	0	20.2	46.79	67.81

Gambar 4.6 menunjukkan kurva yang menggambarkan komposisi unsur dari hasil pengujian senyawa semikonduktor ZnO, 10% rGO, 15% rGO, dan 20% rGO. Unsur Zn dan O dapat dilihat sebagai unsur penyusun senyawa tersebut. Tabel 4.2 dan Tabel 4.3. menunjukkan persentase senyawa yang ditemukan pada uji EDX pada senyawa ZnO. Dimana nilai Zn yaitu 84,26 persen mendominasi di atas unsur oksigen yaitu 15,74 persen. Sedangkan dari analisa pada gambar 4.5 b-d dapat dilihat jumlah kenaikan karbon. Jumlah kenaikan dari karbon tersebut mengindikasikan adanya reduksi dari GO. Berdasarkan tabel 4.2 dan 4.3 dapat dilihat jumlah karbon yang terus meningkat. Adanya reduksi menyebabkan karbon meningkat dan mulai mendominasi dari oksigen

dan Zink pada rGO 15% dan 20%. Berdasarkan Analisa EDX dapat dilihat bahwa semakin besar kadar rGO. Maka, jumlah karbon akan semakin meningkat sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 4.3 (a)-(d). Namun, secara teori jumlah Zn dan oksigen akan berkurang akibat tereduksi oleh rGO. Penelitian ini bersesuaian dengan teori pada penelitian yang dilakukan oleh Eluyemi pada 2016(Eluyemi et al., 2016).

#### 4.2.3. Hasil Pengujian FTIR

Pengujian *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui gugus fungsi dalam senyawa kimia yang terdapat pada rGO. Adapun variabel yang digunakan adalah panjang gelombang beserta mesin yang digunakan adalah  $500\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$  dan mesin Nicolet IS10. Lalu dilakukan analisis pada material zinc oxide, rGO, dan Komposit ZnO/rGO sehingga diperoleh gugus fungsi dari material tersebut. Hasil pengujian FTIR dari rGO dapat dilihat pada **Gambar 4.7**

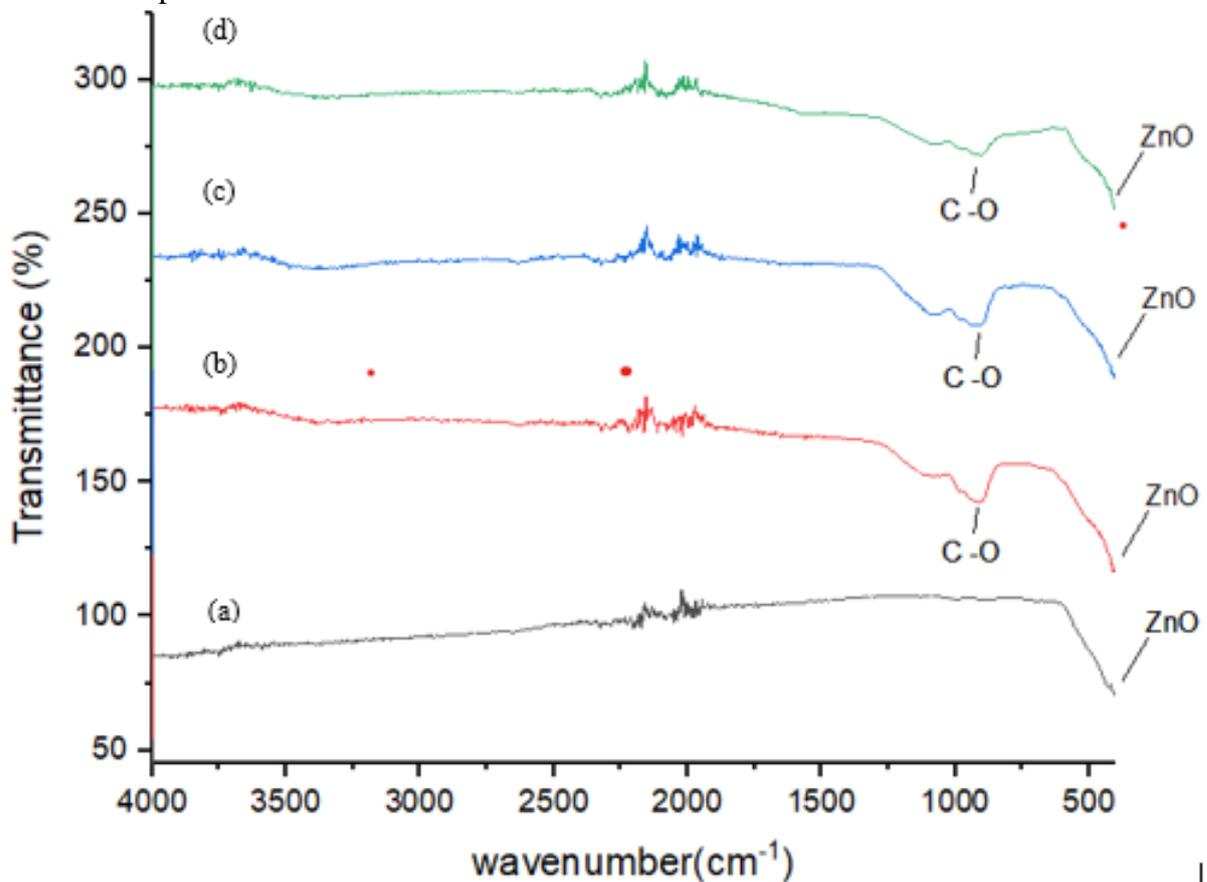


**Gambar 4. 7** Hasil Pengujian FTIR Reduced Graphene Oxide

Dari gambar 4.6 dapat dilihat Beberapa puncak yang teridentifikasi selama proses reduksi menjadi *reduced graphene oxide*. Puncak yang terjadi adalah pada bilangan gelombang pada  $1106,12\text{ cm}^{-1}$  dan terdapat ikatan C-O, kemudian pada bilangan gelombang  $1568,3\text{ cm}^{-1}$  dan terdapat ikatan C = C (aromatic) dan ikatan C=O pada bilangan gelombang  $2037,76\text{ cm}^{-1}$  dan  $1932,94\text{ cm}^{-1}$ . Keberadaan C=C (Aromatic) dengan bilangan gelombang  $1568,3\text{ cm}^{-1}$  yang teridentifikasi, menunjukkan terbentuknya rGO. Sehingga perbedaan antara rGO dan GO adalah senyawa aromatic C=C pada bilangan gelombang  $1568,3$ . Perbedaan ini sesuai dengan studi sebelumnya bahwa perbedaan antara rGO dan GO adalah senyawa aromatic C=C(Sharma et al., 2017).

Gambar 4.7 adalah merupakan hasil pengujian FTIR terhadap senyawa ZnO dan komposit ZnO dengan penambahan *reduced Graphene Oxide* sebanyak 5%, 10% dan 15%.

Terdapat ikatan Zn-O yang ditunjukkan pada panjang gelombang  $470\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini bersesuaian dengan studi yang dilakukan oleh Chen pada 2018 (Z. Chen et al., 2018). Selain ikatan Zn-O yang membentuk senyawa ZnO, ditemukan juga ikatan C-O pada panjang gelombang  $1023\text{ cm}^{-1}$ . Ikatan C-O ini menunjukkan adanya kandungan *reduced Graphene Oxide* pada ketiga komposit ZnO/rGO. Dari kedua panjang gelombang ini, menunjukkan adanya komposit antara zink dan rGO di material komposit.



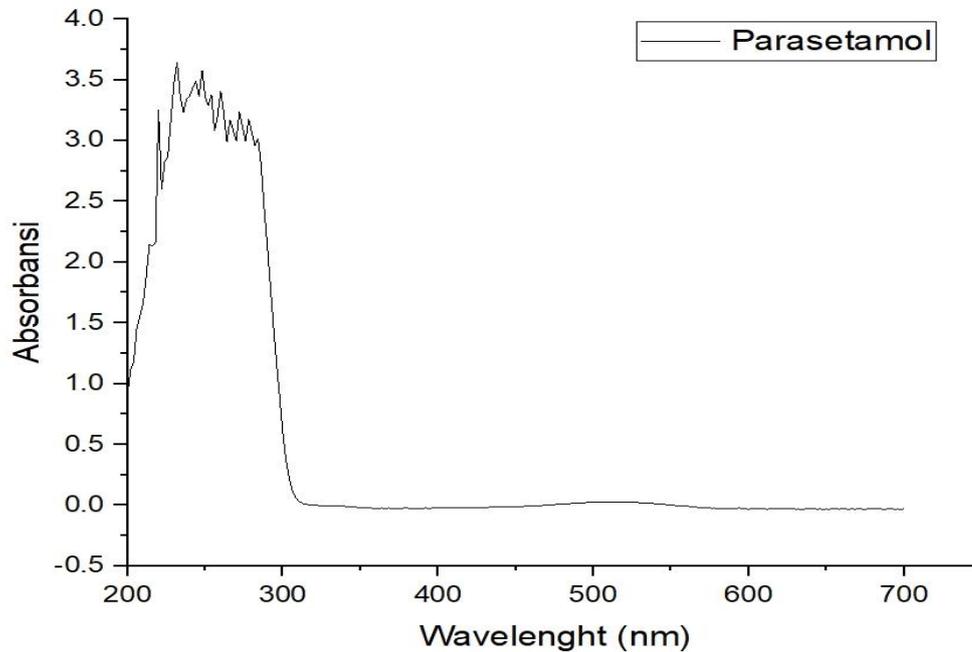
**Gambar 4. 8** Hasil Pengujian FTIR senyawa dari (a)ZnO dan komposit ZnO/rGO dengan campuran (b) 10%, (c) 15% dan (d) 20%

Perbedaan dari ZnO adalah keberadaan senyawa aromatic dengan adanya puncak pada bilangan gelombang 1500. Perbedaan kedua adalah terdapat ikatan C-O yang mengindikasikan adanya reduksi. Perbedaan berikutnya adalah adanya puncak pada rentang  $3412\text{ cm}^{-1}$ . Pada puncak tersebut tersebut GO tidak turun namun yang lain terdapat penurunan. Hal ini mengindikasikan adanya hydroxyl pada GO dan menurun dengan adanya rGO. Studi sebelumnya juga menunjukkan kesesuaian dengan analisa pada penelitian ini (Sharma et al., 2017).

#### 4.2.4. Hasil Pengujian Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri Uv-Vis merupakan sebuah metode analisis yang berdasarkan pada penurunan intensitas cahaya yang diserap oleh suatu media. Pada pengujian UV-Vis, yaitu UV dan Visible, panjang gelombang yang digunakan ada 2 yaitu UV dengan panjang gelombang 200-400 nm dan visible dengan panjang gelombang 400-800 nm.

Pengujian UV-Vis dilakukan agar dapat mengetahui panjang gelombang dari sampel parasetamol dan hasil degradasi setelah penyinaran dibawah sinar UV. Range panjang gelombang yang dipakai pada pengujian ini adalah 200-700 nm. Sample yang digunakan adalah sirup parasetamol merek sanmol. Hasil pengujian spektrofotometri Uv-Vis dari sampel obat sirup parasetamol dengan konsentrasi 300 ppm ditunjukkan pada **Gambar 4.9**



**Gambar 4.9** Hasil Uji UV-VIS Parasetamol 300 ppm

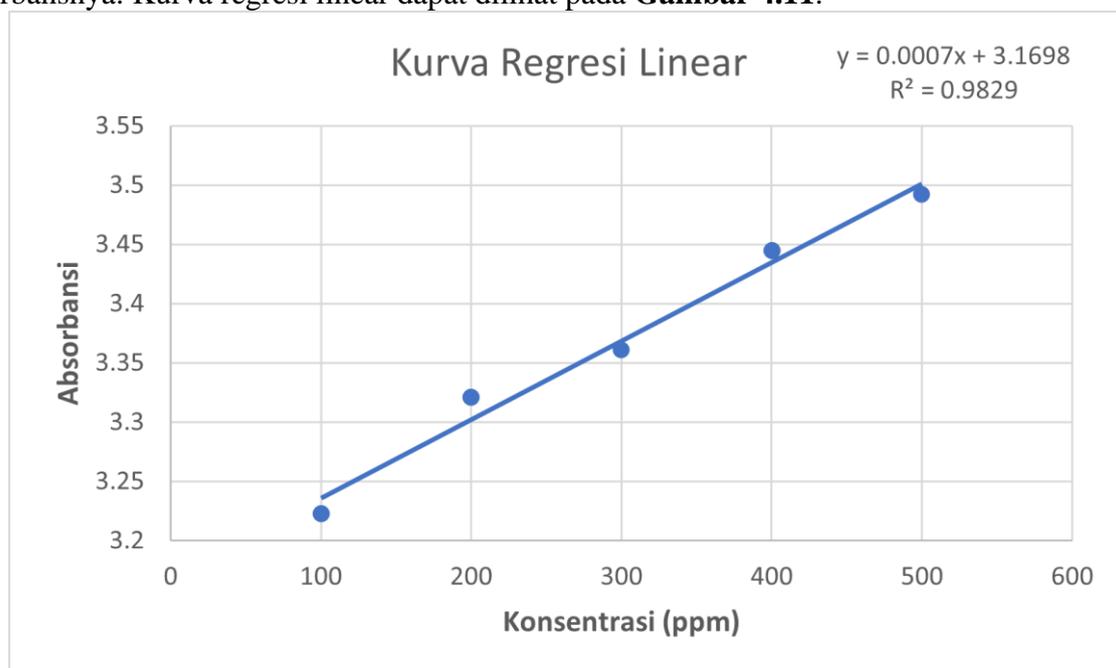
Setelah dilakukan pengujian UV-Vis, panjang gelombang maksimum dari parasetamol dengan konsentrasi 300 ppm adalah 240 nm dan nilai absorbansinya adalah 3.361. Panjang gelombang parasetamol berada pada range sinar UV yaitu sekitar 200-400 nm. Panjang gelombang ini menjadikan nilai absorbansi tersebut maksimum yang telah diteliti pada studi sebelumnya(Lozano-Morales et al., 2019). Panjang gelombang maksimum yang diperoleh akan digunakan dalam pengukuran absorbansi larutan parasetamol untuk pembuatan kurva kalibrasi dan penentuan absorbansi hasil degradasi.

Selanjutnya, ditentukan deret larutan standar dengan konsentrasi 100, 200, 300, 400 dan 500 ppm. Dari konsentrasi tersebut, dapat ditentukan kurva kalibrasi hasil degradasi dari larutan parasetamol. Besar nilai absorbansi yang didapat dari hasil pengujian uv-vis terhadap deret larutan ditunjukkan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4. 4** Nilai absorbansi parasetamol pada konsentrasi yang diuji

No.	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1	100	3.223
2	200	3.321
3	300	3.361
4	400	3.445
5	500	3.492

Selanjutnya data nilai absorbansi tiap deret larutan dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear untuk mendapatkan nilai regresi dan koefisien determinasi dari data tersebut. Sehingga didapatkan persamaan regresi linear  $y = 0.0007x + 3.1698$  dengan koefisien korelasi  $R^2 = 0.9829$ , dimana  $y$  adalah nilai absorbansi dan  $x$  adalah besar konsentrasi (ppm). Nilai  $R^2$  mendekati satu menunjukkan bahwa hubungan yang linear antara konsentrasi dan absorbansi. Berdasarkan persamaan tersebut, konsentrasi larutan parasetamol dapat dihitung dengan memasukkan nilai absorbansinya. Kurva regresi linear dapat dilihat pada **Gambar 4.11**.



**Gambar 4. 10** Kurva regresi linear

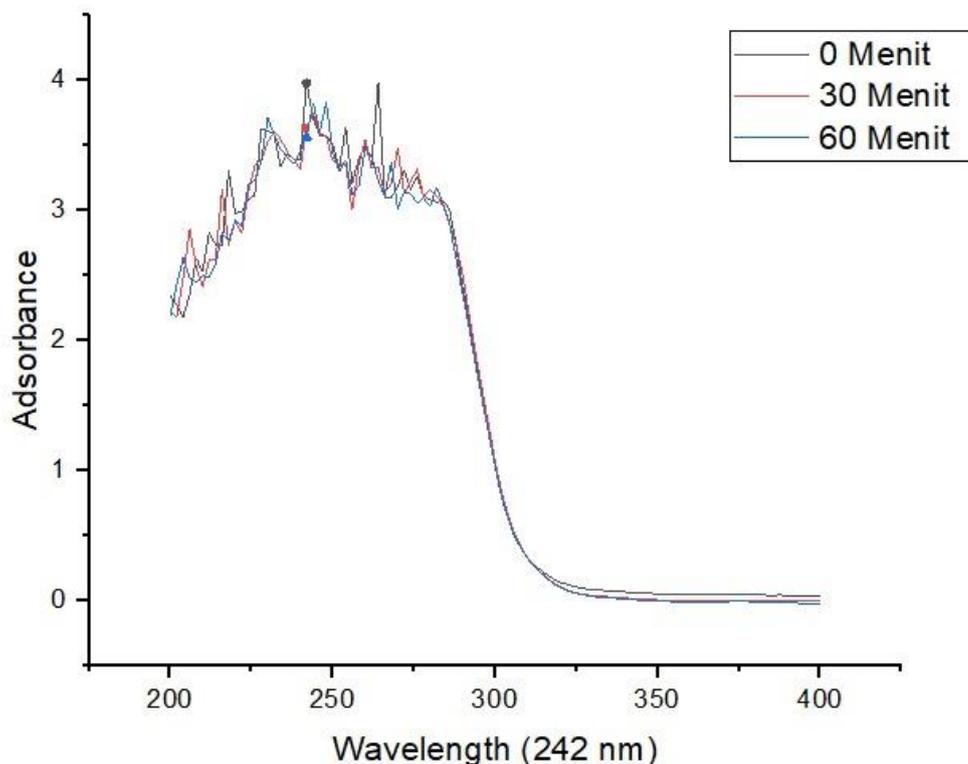
### 4.3. Analisis Hasil Fotokatalis

Pengujian fotokatalitik dilakukan untuk mengetahui hasil kinerja semikonduktor ZnO dan membandingkannya dengan ZnO yang telah dikompositkan dengan senyawa *reduced Graphene Oxide* dengan variasi persen massa. Uji fotokatalis dilakukan di bawah penyinaran sinar UV-C 11 watt.

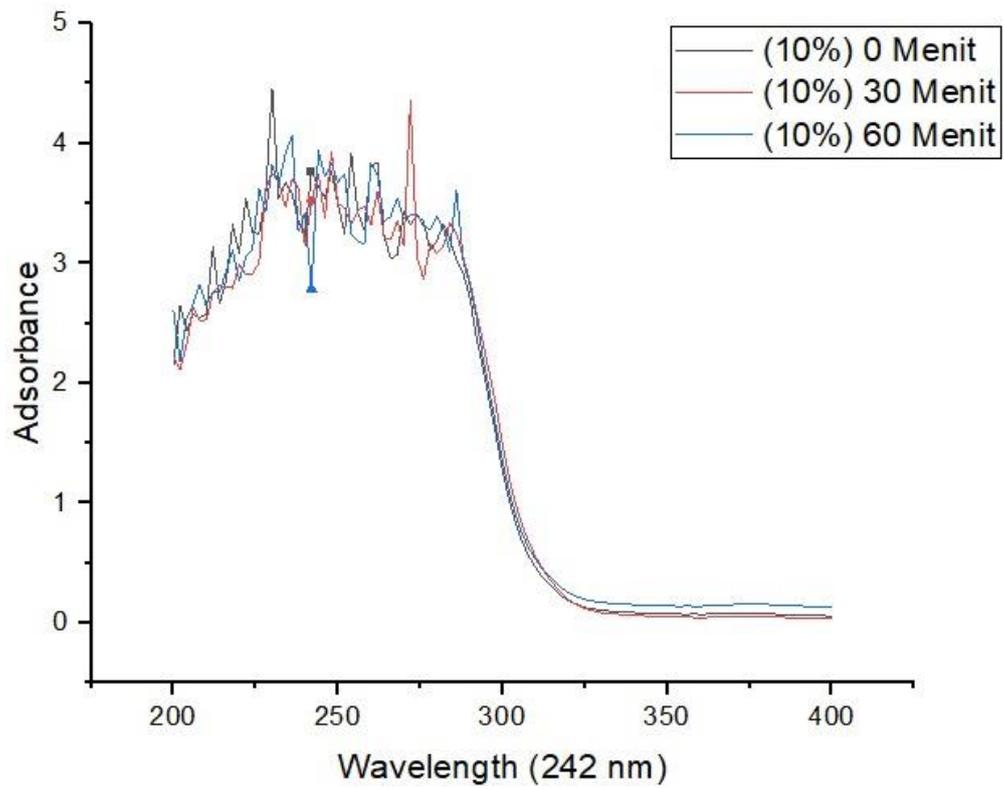
**Tabel 4.5** Nilai absorbansi hasil degradasi parasetamol dari material ZnO, ZnO/rGO 10%, ZnO/rGO 15% dan ZnO/rGO 20%

Waktu Penyinaran (menit)	ABSORBANSI			
	ZnO	ZnO/rGO 10%	ZnO/rGO 15%	ZnO/rGO 20%
0	2,784	3,766	3,739	3,752
30	2,676	3,521	3,645	3,702
60	2,530	2,789	3,563	3,560

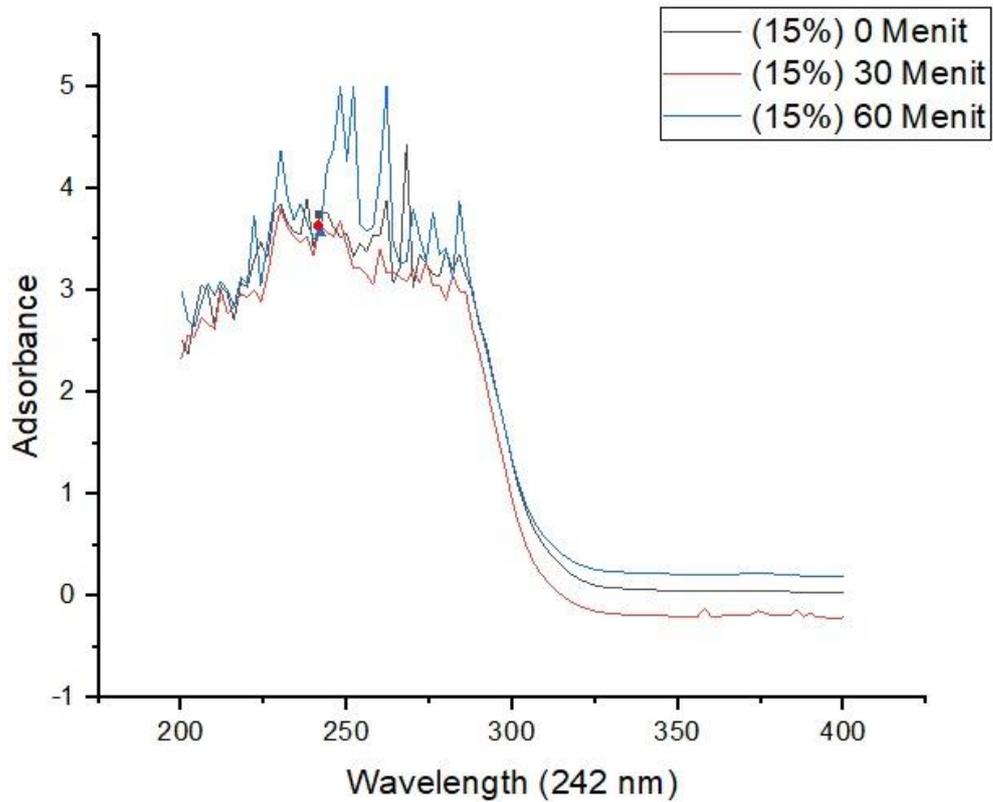
Tabel 4.5 menunjukkan hasil degradasi dari material ZnO dan komposit ZnO/rGO. Dari data tersebut, tertera mengenai nilai adsorbansi dari parasetamol yang mengalami degradasi dengan semikonduktor ZnO dan komposit ZnO/rGO dengan variasi persen massa yang diinginkan. Perbedaan nilai adsorbansi antara material ZnO dan komposit ZnO/rGO dikarenakan adanya proses *stirring* atau pengadukan sebelum penyinaran sinar UV-C selama 1 jam untuk menghomogenkan sampel parasetamol, dan pengadukan tersebut dilakukan dibawah sinar lampu laboratorium atau sinar tampak. Peristiwa ini menyebabkan nilai adsorbansi sampel parasetamol yang ditambahkan ZnO lebih rendah daripada sampel parasetamol yang ditambahkan komposit ZnO/rGO. Pada **Gambar 4.11** sampai **Gambar 4.15** dilakukan pengujian UV-Vis untuk mengetahui perbedaan adsorbansi dari larutan parasetamol yang telah ditambahkan dengan senyawa ZnO dan komposit ZnO/rGO dengan jumlah reduced Graphene Oxide yang bervariasi (10%, 15%, dan 20%).



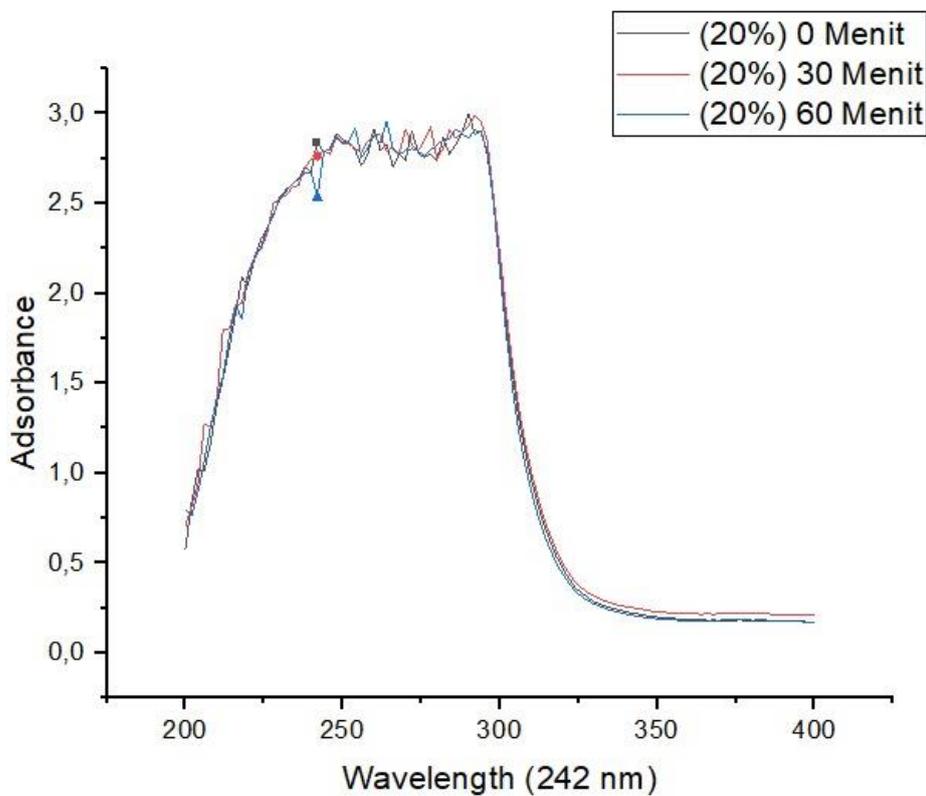
**Gambar 4.11** Hasil Pengujian UV-Vis larutan parasetamol dengan semikonduktor senyawa ZnO



**Gambar 4. 12** Hasil Pengujian UV-Vis larutan parasetamol dengan semikonduktor senyawa ZnO/rGO 10%

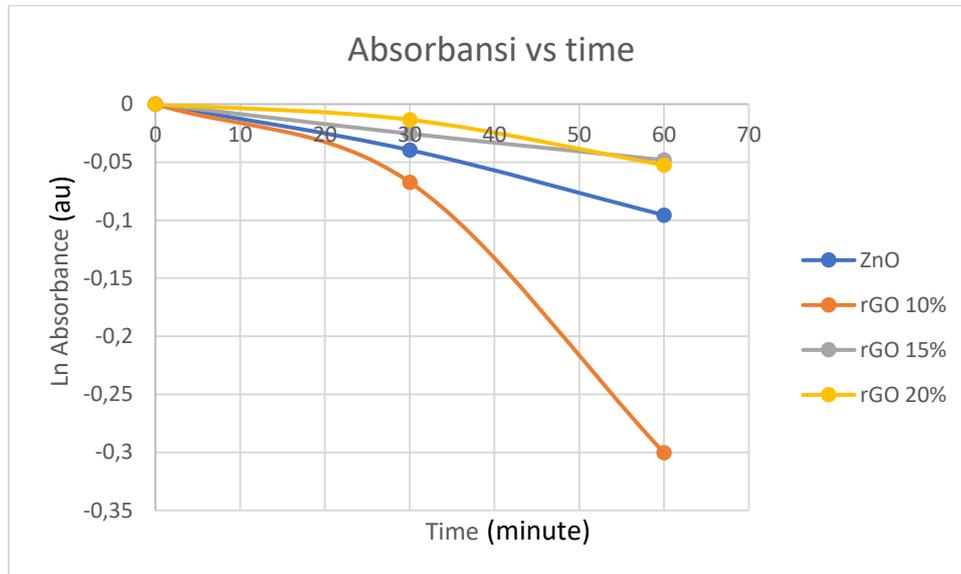


**Gambar 4. 13** Gambar 4. 12 Hasil Pengujian UV-Vis larutan parasetamol dengan semikonduktor senyawa ZnO/rGO 15%

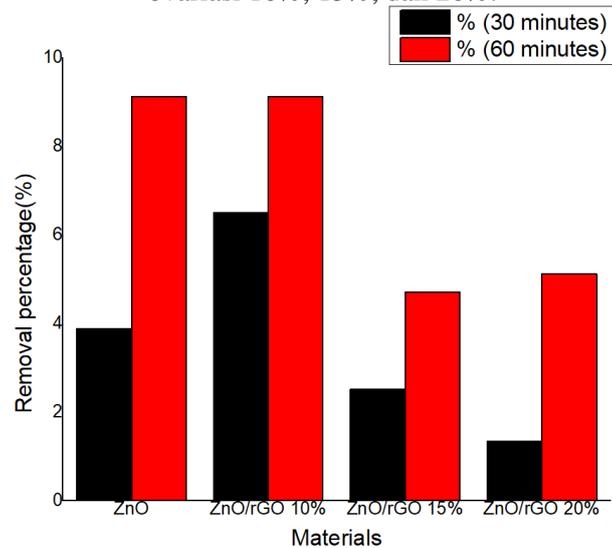


**Gambar 4. 14** Hasil Pengujian UV-Vis larutan parasetamol dengan semikonduktor senyawa ZnO/rGO 20%

Nilai absorbansi pada Tabel 4.5 dapat digambarkan melalui diagram titik pada **Gambar 4.10-4.12**. Konsentrasi parasetamol menurun dengan penambahan waktu penyinaran, seperti yang dapat dilihat dengan menganalisis tren. Hal tersebut diindikasikan dengan nilai absorbansi menurun pada setiap 30 menit dan 1 jam penyinaran sinar UV-C.



**Gambar 4.15** Diagram absorbans hasil degradasi parasetamol dengan semikonduktor ZnO dan membandingkannya dengan ZnO yang telah dikompositkan dengan reduced Graphene Oxide dengan Ovariasi 10%, 15%, dan 20%.



**Gambar 4.16** Grafik *Removal Percentage* Zno dan rGO dengan variasi 10%,15% dan 20%

**Tabel 4.6** Konstanta peluruhan pada masing masing sampel

	ZnO		rGO 10%		rGO15%		rGO 20%	
	LN A/A0	K	LN A/A0	K	LN A/A0	K	LN A/A0	K
30 menit	-0.03957	-0.0013	-0.06727	-0.00224	-0.02546	0.00085	-0.01342	-0.00045
60 menit	-0.09567	-2.19E-05	-0.30033	-3.7E-05	-0.04822	-1.4E-05	-0.05253	-7.5E-06

Semikonduktor ZnO mengalami penurunan nilai absorbansi di setiap 30 menit penyinaran sinar UV-C. Nilai absorbansi secara berturut dari 0 menit, 30 menit, dan 60 menit yaitu: 2,784; 2,676; dan 2,530. Dapat disimpulkan bahwa material semikonduktor ZnO adalah material semikonduktor yang baik digunakan dalam mendegradasi parasetamol di bawah sinar UV-C. Hal ini dikarenakan material ZnO memiliki rentang panjang gelombang di daerah UV, yaitu 360-380 nm. Semikonduktor yang berasal dari hasil komposit ZnO dan *reduced Graphene Oxide* dengan variasi 10%, 15%, dan 20% juga mengalami penurunan nilai adsorbansi. Nilai absorbans dari komposit ZnO dan *reduced Graphene Oxide* dengan variasi 10% massa secara berturut dari 0 menit, 30 menit, dan 60 menit yaitu: 3,766; 3,521; dan 2,789. Nilai absorbans dari komposit ZnO dan *reduced Graphene Oxide* dengan variasi 15% massa secara berturut dari 0 menit, 30 menit, dan 60 menit yaitu: 3,739; 3,645; dan 3,563. Nilai absorbans dari komposit ZnO dan *reduced Graphene Oxide* dengan variasi 20% massa secara berturut dari 0 menit, 30 menit, dan 60 menit yaitu: 3,752; 3,702; dan 3,566. Tabel 4.6 juga menunjukkan bahwa laju paling besar untuk mendegradasi adalah rGO 10% dimana nilai konstanta ini didapatkan dari nilai  $\ln$  berdasarkan gambar 4.16. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, nilai adsorbansinya juga lebih besar dibanding sampel yang lain. Dari nilai adsorbansi tersebut, adanya penambahan *reduced Graphene Oxide* Berdasarkan data diatas didapatkan bahwa urutan dalam mendegradasi tertinggu ke terendah berturut-turut adalah rGO 20%, rGO15%, ZnO dan rGO 10%. Dari data diatas dapat dilihat bahwa kemampuan dalam mendegradasi parasetamol paling optimal pada rGO dengan campuran 10% rGO membantu ZnO sebagai semikonduktor dalam mendegradasi limbah parasetamol secara optimal. Kondisi tersebut didukung oleh adanya pH dengan konsentrasi pH yang optimal. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konsentrasi rGO 10% mempunyai pH yang optimal dalam angka 5 dibanding dengan konsentrasi oleh penambahan massa persen yang lain. Hal ini juga didukung karena *reduced Graphene Oxide* yang memiliki luas permukaan aktif yang luas yaitu sebesar 2600 m<sup>2</sup>/g (Singh et al., 2011). Luas permukaan merupakan salah satu faktor penentu efisiensi dari suatu semikonduktor.

**Tabel 4. 7** *Removal Percentage* pada sampel pada 30 menit dan 60 menit

Material	<i>Removal percentage</i>	
	30 menit(%)	60 menit(%)
ZnO	3.87931	9.12356
ZnO/rGO 10%	6.50558	9.12356
ZnO/rGO 15%	2.51404	4.70714
ZnO/rGO 20%	1.33262	5.11727

Grafik pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa nilai *removal percentage* akan naik seiring dengan berjalanya waktu. Hal tersebut diperlihatkan oleh grafik berwarna hitam dan merah pada tiap sampel. Peningkatan ini akan terus naik hingga pada akhirnya seimbang pada rentang 90 detik. Kenaikan yang besar ini berlangsung cepat sebagai akibat dari adanya partikel aktif yang belum terdegradasi. Adapun data dari percobaan ini disajikan pada tabel 4.6. Tabel tersebut menunjukkan bahwa *removal percentage* terkecil terletak pada ZnO 20%. Semakin tinggi *Removal percentage* semakin besar persen massa rGO. Analisa ini sesuai dengan analisa yang dilakukan oleh Ramadan pada tahun 2021 (Ramadan & Abdel-Aal, 2021).

Berdasarkan data yang dihasilkan ke-empat sampel pengujian dapat dilihat bahwa semakin kecil nilai adsorbansi yang dihasilkan pada setiap menitnya, maka semakin naik nilai efisiensi

---

dari semikonduktor tersebut. Adapun faktor mempengaruhi efisiensi dari suatu semikonduktor yang adalah sumber energi dan lamanya waktu penyinaran. Dimana energi berasal dari daya lampu UV-C sebesar 11 watt dan penyinaran selama 30 menit dan 1 jam. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jumlah % rGO semakin tinggi kemampuan dalam mendagrasi limbah parasetamol. Studi yang dilakukan oleh Mondal pada 2021 memberikan bahwa rGO memiliki kemampuan photovoltaic yang bagus sehingga mampu dimanfaatkan sebagai semikonduktor pada solar sel. Studi ini bersesuaian dengan data dan analisa yang didapat dari penelitian ini(Mondal et al., 2021).

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil penelitian kesimpulan yang dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan persen massa rGO mempengaruhi struktur morfologi dan struktur kimia dari komposit ZnO/rGO. Perubahan struktur morfologi tersebut berupa naiknya intensitas pada uji XRD seiring dengan naiknya puncak, penambahan lipatan atau lembaran rGO dan berkurangnya gumpalan bulat *spherical* dari ZnO pada struktur mikro berdasarkan analisa SEM, dan adanya ikatan kimia C=C dan hilangnya gugus hydroxyl pada uji FTIR.
2. Penambahan persen massa rGO mampu meningkatkan efisensi ZnO dalam mendegradasi limbah parasetamol. Kemampuan dalam mendegradasi parasetamol paling optimal adalah pada rGO dengan campuran 10% rGO dan mampu mendegrasi parasetamol dengan removal percentage 4.5% pada 30 menit dan 9% pada 60 menit.

#### **5.2. Saran**

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Menggunakan lampu UV dengan daya yang lebih tinggi.
2. Proses penambahan dan pengadukan sampel dengan semikonduktor harus dilakukan dengan kondisi lampu ruang sudah dimatikan atau didalam suatu kotak tertutup.
3. Menggunakan metode dan variasi massa yang berbeda untuk sintesis komposit ZnO/rGO

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, N. R. (2019). HPLC Method for Determination of Paracetamol in Pharmaceutical Formulations and Environmental Water Samples. *Chemical Science Transactions*, 8(2), 237–243. <https://doi.org/10.7598/cst2019.1486>
- Al-Gharibi, M. A., Kyaw, H. H., Al-Sabahi, J. N., Zar Myint, M. T., Al-Sharji, Z. A., & Al-Abri, M. Z. (2021). Silver nanoparticles decorated zinc oxide nanorods supported catalyst for photocatalytic degradation of paracetamol. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 134(May), 105994. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2021.105994>
- Ali, A., Phull, A. R., & Zia, M. (2018). Elemental zinc to zinc nanoparticles: Is ZnO NPs crucial for life? Synthesis, toxicological, and environmental concerns. *Nanotechnology Reviews*, 7(5), 413–441. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2018-0067>
- Bagnis, S., Boxall, A., Gachanja, A., Fitzsimons, M., Murigi, M., Snape, J., Tappin, A., Wilkinson, J., & Comber, S. (2020). Characterization of the Nairobi River catchment impact zone and occurrence of pharmaceuticals: Implications for an impact zone inclusive environmental risk assessment. *Science of the Total Environment*, 703, 134925. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134925>
- Chen, J., Yao, B., Li, C., & Shi, G. (2013). An improved Hummers method for eco-friendly synthesis of graphene oxide. *Carbon*, 64(1), 225–229. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.07.055>
- Chen, Z., Zhang, N., & Xu, Y. J. (2013). Synthesis of graphene-ZnO nanorod nanocomposites with improved photoactivity and anti-photocorrosion. *CrystEngComm*, 15(15), 3022–3030. <https://doi.org/10.1039/c3ce27021a>
- Chuan, Z. (2014). Handbook of Zinc Oxide and Related Materials. *Devices and Nano-Engineering*, 2, 555.
- Drewniak, S., Muzyka, R., Stolarczyk, A., Pustelny, T., Kotyczka-Morańska, M., & Setkiewicz, M. (2016). Studies of reduced graphene oxide and graphite oxide in the aspect of their possible application in gas sensors. *Sensors (Switzerland)*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/s16010103>
- Dubey, A., Bhavsar, N., Pachchigar, V., Saini, M., Ranjan, M., & Dube, C. L. (2022). Microwave assisted ultrafast synthesis of graphene oxide based magnetic nano composite for environmental remediation. *Ceramics International*, 48(4), 4821–4828. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.11.018>
- Eluyemi, M. S., Eleruja, M. A., Adedeji, A. V., Olofinjana, B., Fasakin, O., Akinwunmi, O. O., Ilori, O. O., Famojuro, A. T., Ayinde, S. A., & Ajayi, E. O. B. (2016). Synthesis and Characterization of Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide Thin Films Deposited by Spray Pyrolysis Method. *Graphene*, 05(03), 143–154. <https://doi.org/10.4236/graphene.2016.53012>
- Galus, M., Fraz, S., Gugilla, A., Jönsson, M., & Wilson, J. Y. (2020). Prostaglandins prevent acetaminophen induced embryo toxicity in zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 80(August), 103463. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103463>
- Giri, B. (2017). Analysis of a Mixture of Paracetamol and 4-Aminophenol in a Paper-Based Microfluidic Device. *Laboratory Methods in Microfluidics*, 97–101. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813235-7.00015-5>
- Jiang, J., Pi, J., & Cai, J. (2018). The Advancing of Zinc Oxide Nanoparticles for Biomedical Applications. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1062562>
- Kamat, P. (2012). Manipulation of Charge Transfer Across Semiconductor Interface. A Criterion

- That Cannot Be Ignored in Photocatalyst Design. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 3, 663–672. <https://doi.org/10.1021/jz201629p>
- Kingsley Ogemdi, I. (2019). A Review on the Properties and Uses of Paracetamol. *International Journal of Pharmacy and Chemistry*, 5(3), 31. <https://doi.org/10.11648/j.ijpc.20190503.12>
- Koagouw, W., Arifin, Z., Olivier, G. W. J., & Ciocan, C. (2021). High concentrations of paracetamol in effluent dominated waters of Jakarta Bay, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 169(June), 112558. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112558>
- Liu, P., Huang, Y., & Wang, L. (2013). A facile synthesis of reduced graphene oxide with Zn powder under acidic condition. *Materials Letters*, 91, 125–128. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.09.085>
- Lozano-Morales, S. A., Morales, G., López Zavala, M. Á., Arce-Sarria, A., & Machuca-Martínez, F. (2019). Photocatalytic treatment of paracetamol using TiO<sub>2</sub> nanotubes: Effect of pH. *Processes*, 7(6), 1–9. <https://doi.org/10.3390/pr7060319>
- Manivannan, N., Sycheva, A., Kristály, F., Muránszky, G., & Baumli, P. (2022). Structural differences and adsorption behaviour of alkaline metals doped zinc oxide nanoparticles. *Scientific Reports*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06092-z>
- Mendes, C. R., Dilarri, G., Forsan, C. F., Sapata, V. de M. R., Lopes, P. R. M., de Moraes, P. B., Montagnolli, R. N., Ferreira, H., & Bidoia, E. D. (2022). Antibacterial action and target mechanisms of zinc oxide nanoparticles against bacterial pathogens. *Scientific Reports*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06657-y>
- Mondal, A., Prabhakaran, A., Gupta, S., & Subramanian, V. R. (2021). *Boosting Photocatalytic Activity Using Reduced Graphene Oxide ( RGO )/ Semiconductor Nanocomposites : Issues and Future Scope*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c06045>
- Nayiroh, N. (2014). *Analisis Data Difraksi Dengan Metode Rietveld*. 1–9.
- Nugraheni, A. Y., Pembimbing, D., Magister, P., Keahlian, B., Material, F., Fisika, P. S., Matematika, F., Ilmu, D. A. N., & Alam, P. (2017). *Analisis struktur grafena oksida tereduksi dari tempurung kelapa tua dengan hamburan sinar-X sudut kecil sinkrotron*.
- Pandolfi, S., Simonetti, V., Ricevuti, G., & Chirumbolo, S. (2021). Paracetamol in the home treatment of early COVID-19 symptoms: A possible foe rather than a friend for elderly patients? *Journal of Medical Virology*, 93(10), 5704–5706. <https://doi.org/10.1002/jmv.27158>
- Pardede, B. B. (2018). *Analisis Pengaruh Penambahan Reduced Graphene Oxide terhadap Sifat Fotokatalitik dari Komposit ZnO/rGO dengan Metode Oksidasi Serbuk Zink dan Reduksi ...*. <https://repository.its.ac.id/53311/>
- Ramadan, R., & Abdel-Aal, S. K. (2021). Facile synthesis of nanostructured ZnO–rGO based graphene and its application in wastewater treatment. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(14), 19667–19675. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-06489-y>
- Scrafford, K. M. (2013). Infrared Reduction of Graphene Oxide. *Center for Composite Materials, University of Delaware*. [https://www.ccm.udel.edu/research\\_summaries/infrared-reduction-of-graphene-oxide/](https://www.ccm.udel.edu/research_summaries/infrared-reduction-of-graphene-oxide/)
- Sharma, V., Jain, Y., Kumari, M., Gupta, R., Sharma, S. K., & Sachdev, K. (2017). Synthesis and Characterization of Graphene Oxide (GO) and Reduced Graphene Oxide (rGO) for Gas Sensing Application. *Macromolecular Symposia*, 376(1), 1–5. <https://doi.org/10.1002/masy.201700006>
- Singh, V., Joung, D., Zhai, L., Das, S., Khondaker, S. I., & Seal, S. (2011). Graphene based materials: Past, present and future. *Progress in Materials Science*, 56(8), 1178–1271. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.03.003>
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2012). *Chemical Synthesis*. Encyclopaedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/chemical-synthesis>

- 
- Thi, V. H. T., & Lee, B. K. (2017). Effective photocatalytic degradation of paracetamol using La-doped ZnO photocatalyst under visible light irradiation. In *Materials Research Bulletin* (Vol. 96). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2017.04.028>
- Ullah, K., Ye, S., Zhu, L., Jo, S. B., Jang, W. K., Cho, K. Y., & Oh, W. C. (2014). Noble metal doped graphene nanocomposites and its study of photocatalytic hydrogen evolution. *Solid State Sciences*, *31*, 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2014.03.006>
- Vaiano, V., Matarangolo, M., & Sacco, O. (2018). UV-LEDs floating-bed photoreactor for the removal of caffeine and paracetamol using ZnO supported on polystyrene pellets. *Chemical Engineering Journal*, *350*, 703–713. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.06.011>
- Wilkinson, J. L., Boxall, A. B. A., Kolpin, D. W., Leung, K. M. Y., Lai, R. W. S., Wong, D., Ntchantcho, R., Pizarro, J., Mart, J., Echeverr, S., Garric, J., Chaumot, A., Gibba, P., Kunchulia, I., Seidensticker, S., Lyberatos, G., Morales-salda, J. M., & Kang, H. (2022). *Pharmaceutical pollution of the world ' s rivers*. *119*(8), 1–10. <https://doi.org/10.1073/pnas.2113947119/-/DCSupplemental.Published>
- William, W., Pengajar, S., Fisiologi, B., Kedokteran, F., Kristen, U., & Wacana, K. (2017). *Ikan zebra ( Danio rerio ) dan Kegunaanya dalam Penelitian Fisiologi*. *23*(64), 41–46.
- Zainuddin, M. F., Nik Raikhan, N. H., Othman, N. H., & Abdullah, W. F. H. (2018). Synthesis of reduced Graphene Oxide (rGO) using different treatments of Graphene Oxide (GO). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *358*(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/358/1/012046>
- Zhang, W., Xu, H., Xie, F., Ma, X., Niu, B., Chen, M., Zhang, H., Zhang, Y., & Long, D. (2022). General synthesis of ultrafine metal oxide/reduced graphene oxide nanocomposites for ultrahigh-flux nanofiltration membrane. *Nature Communications*, *13*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28180-4>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

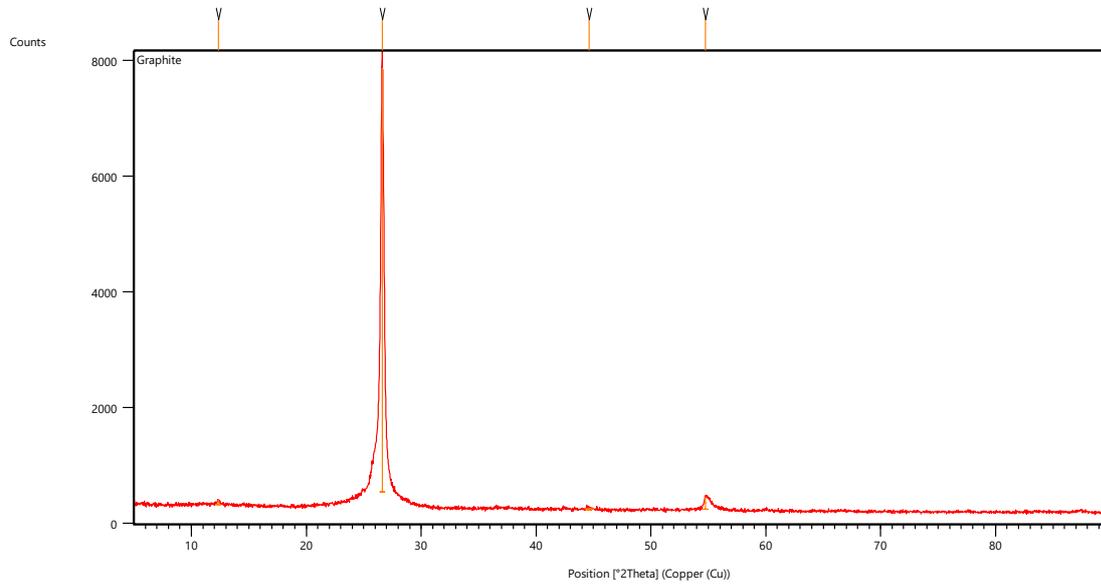
## LAMPIRAN

### I. Grafik XRD

Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [ $^{\circ}2\theta$ .]	5.0084
End Position [ $^{\circ}2\theta$ .]	89.9744
Step Size [ $^{\circ}2\theta$ .]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [ $^{\circ}2\theta$ .]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [ $^{\circ}$ ]	1.0000
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [ $\text{\AA}$ ]	1.54060
K-Alpha2 [ $\text{\AA}$ ]	1.54443
K-Beta [ $\text{\AA}$ ]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	Yes

**a. Expanded Graphite**

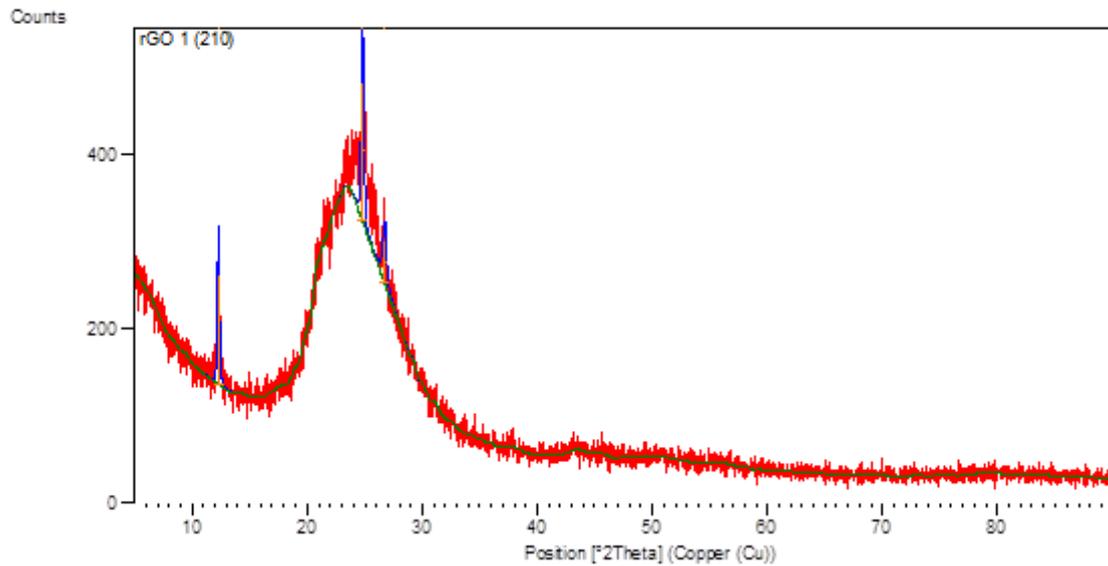
**Main Graphics, analyze view**



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
12.3612	77.82	0.2007	7.16068	1.06
26.6301	7333.41	0.1506	3.34746	100.00
44.6155	32.10	0.8029	2.03102	0.44
54.7216	214.43	0.2342	1.67744	2.92

**b. reduced Graphene Oxide**  
**Main Graphics, analyze view**

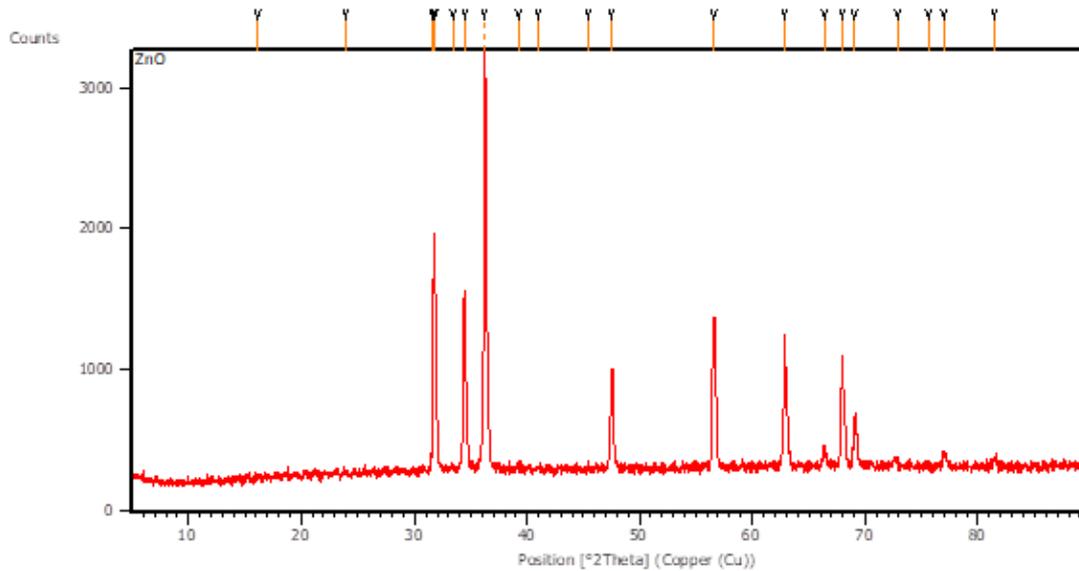


Peak List:

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
12.282560	126.082100	0.167280	7.20634	78.64
24.795720	160.330700	0.200736	3.59078	100.00
26.726510	49.052780	0.401472	3.33560	30.59

### c. Zinc Oxide (ZnO)

#### Main Graphics, analyze view

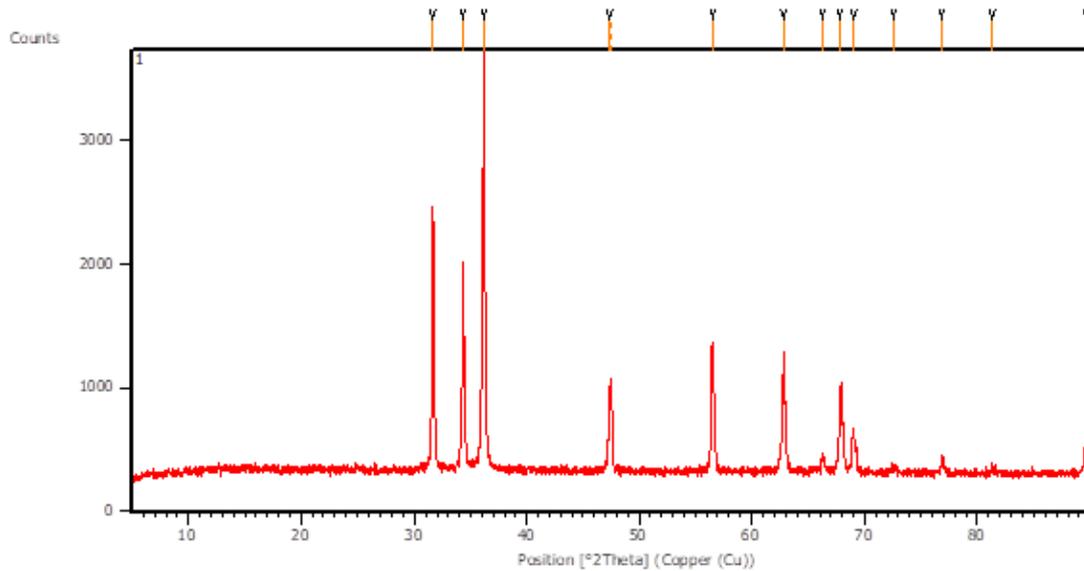


Peak List:

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
16.1642	13.34	0.3346	5.48352	0.45
23.8764	18.28	0.2676	3.72691	0.62
31.7052	1346.00	0.1020	2.81992	45.63
31.8103	1675.01	0.1171	2.81317	56.78
33.3680	36.19	0.4015	2.68532	1.23
34.4809	1215.14	0.2175	2.60116	41.19
36.1924	2365.10	0.1428	2.47993	80.17
36.2997	2949.98	0.0816	2.47899	100.00
39.2541	31.46	0.4896	2.29327	1.07
40.9865	13.26	0.5712	2.20024	0.45
45.5027	22.51	0.4896	1.99181	0.76
47.5822	708.21	0.1224	1.90950	24.01
56.6344	1052.41	0.2448	1.62390	35.68
62.8915	936.82	0.1020	1.47654	31.76
66.3585	131.42	0.1224	1.40756	4.45
67.9496	775.86	0.0816	1.37842	26.30
69.0771	346.39	0.2040	1.35865	11.74
72.8250	53.52	0.4080	1.29769	1.81
75.5511	40.11	0.2448	1.25749	1.36
76.9675	103.63	0.3264	1.23784	3.51
81.5111	58.58	0.3264	1.17993	1.99
89.5952	255.88	0.1632	1.09324	8.67

**d. Zinc Oxide/reduced Graphene Oxide 10%(ZnO/rGO 10%)**

Main Graphics, analyze view

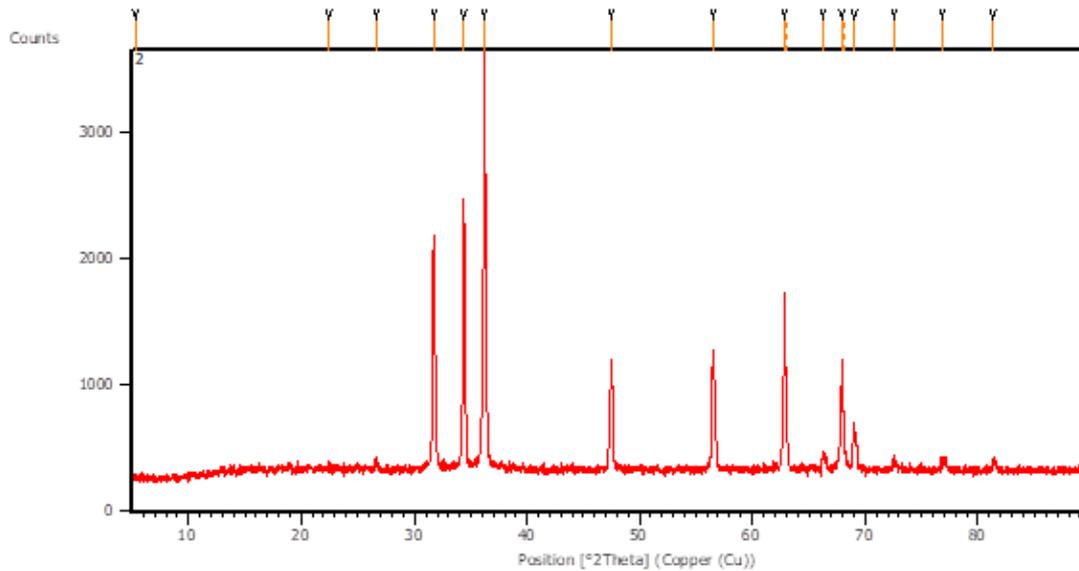


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
31.6956	2066.47	0.1840	2.82309	61.07
34.3568	1637.61	0.1506	2.61027	48.39
36.1744	3383.96	0.2007	2.48318	100.00
47.4058	597.59	0.1020	1.91620	17.66
47.5029	716.20	0.0612	1.91726	21.16
56.5203	1034.78	0.1836	1.62690	30.58
62.7964	944.54	0.1428	1.47855	27.91
66.2513	122.31	0.1632	1.40957	3.61
67.8223	623.65	0.1224	1.38070	18.43
69.0212	320.99	0.1428	1.35961	9.49
72.6008	35.26	0.4080	1.30114	1.04
76.8780	123.08	0.1632	1.23906	3.64
81.3310	66.30	0.2448	1.18209	1.96
89.6094	185.62	0.1224	1.09310	5.49

**e. Zinc Oxide/reduced Graphene Oxide 15% (ZnO/rGO 15%)**

**Main Graphics, analyze view**

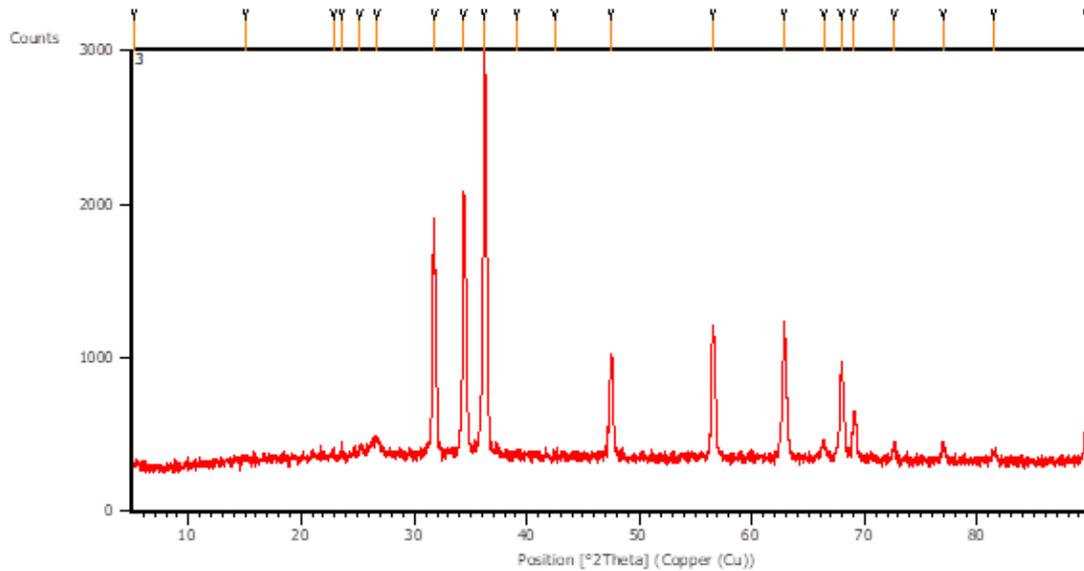


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.2954	16.55	0.4015	16.68883	0.50
22.4728	32.77	0.2007	3.95641	1.00
26.6316	68.18	0.2007	3.34727	2.07
31.7164	1741.75	0.1840	2.82128	52.93
34.4218	2117.75	0.1338	2.60549	64.35
36.2293	3290.80	0.2175	2.47954	100.00
47.5271	860.85	0.1338	1.91317	26.16
56.5510	934.61	0.1673	1.62744	28.40
62.8536	1386.08	0.1428	1.47734	42.12
63.0550	648.64	0.0816	1.47677	19.71
66.2602	116.10	0.2448	1.40941	3.53
67.9140	870.23	0.1020	1.37905	26.44
68.1228	408.77	0.1224	1.37875	12.42
69.0212	304.89	0.1224	1.35961	9.27
72.5726	104.93	0.2040	1.30158	3.19
76.9015	89.53	0.4080	1.23874	2.72
81.3407	81.08	0.3264	1.18197	2.46
89.5970	241.99	0.0816	1.09322	7.35

**f. Zinc Oxide/reduced Graphene Oxide 20% (ZnO/rGO 20%)**

**Main Graphics, analyze view**

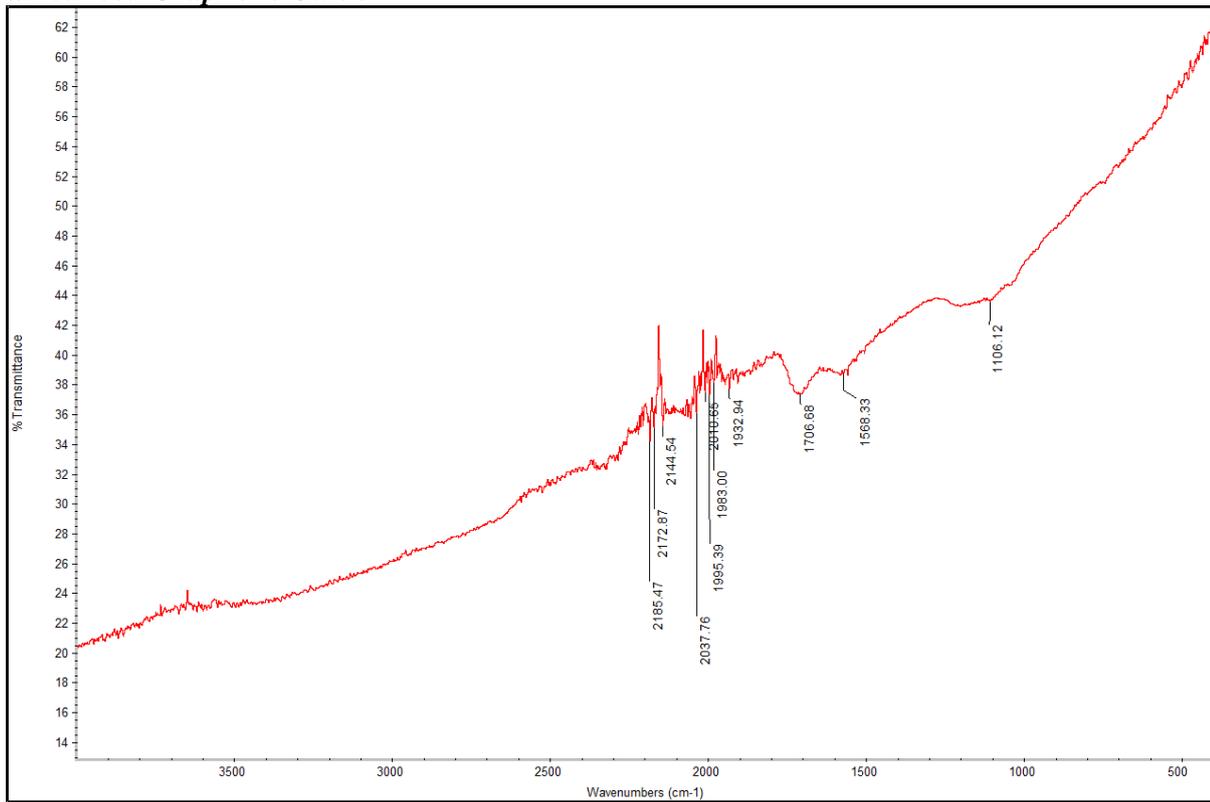


Peak List:

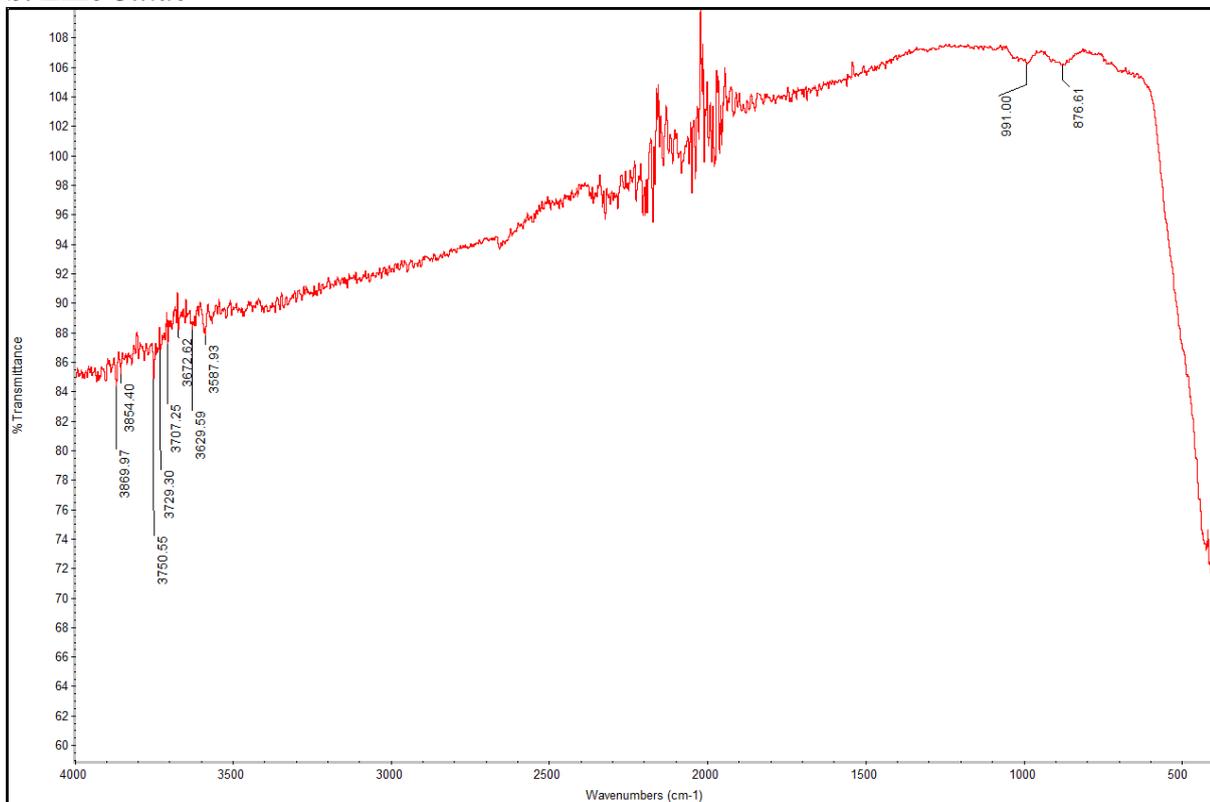
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.2527	19.12	0.8029	16.82436	0.76
15.0645	22.97	0.4015	5.88123	0.92
22.8398	20.79	0.4684	3.89367	0.83
23.6335	28.54	0.2007	3.76467	1.14
25.2192	62.76	0.3346	3.53144	2.50
26.7372	104.08	0.3346	3.33430	4.15
31.7922	1505.14	0.1673	2.81473	60.00
34.3700	1517.18	0.1171	2.60930	60.48
36.2038	2508.46	0.2509	2.48123	100.00
39.0711	25.17	0.4015	2.30549	1.00
42.4620	14.39	0.3346	2.12890	0.57
47.5881	646.48	0.1004	1.91086	25.77
56.5660	826.71	0.3346	1.62704	32.96
62.8975	886.46	0.1840	1.47764	35.34
66.3660	108.40	0.2342	1.40858	4.32
67.9248	631.16	0.2007	1.38000	25.16
69.0591	285.22	0.2007	1.36008	11.37
72.6310	86.49	0.2676	1.30175	3.45
76.9736	93.13	0.2342	1.23878	3.71
81.4560	55.22	0.2676	1.18157	2.20
89.5943	181.76	0.2007	1.09415	7.25

## II. Grafik FTIR

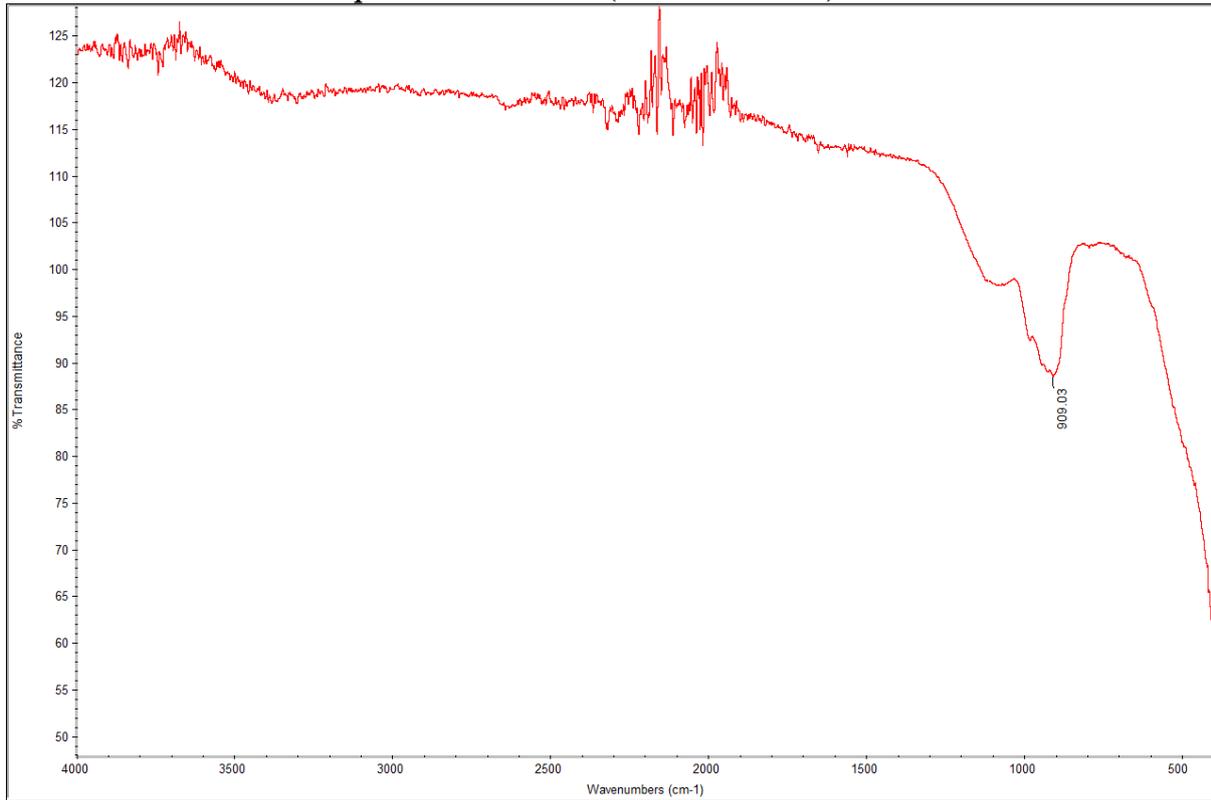
### a. reduced Graphene Oxide



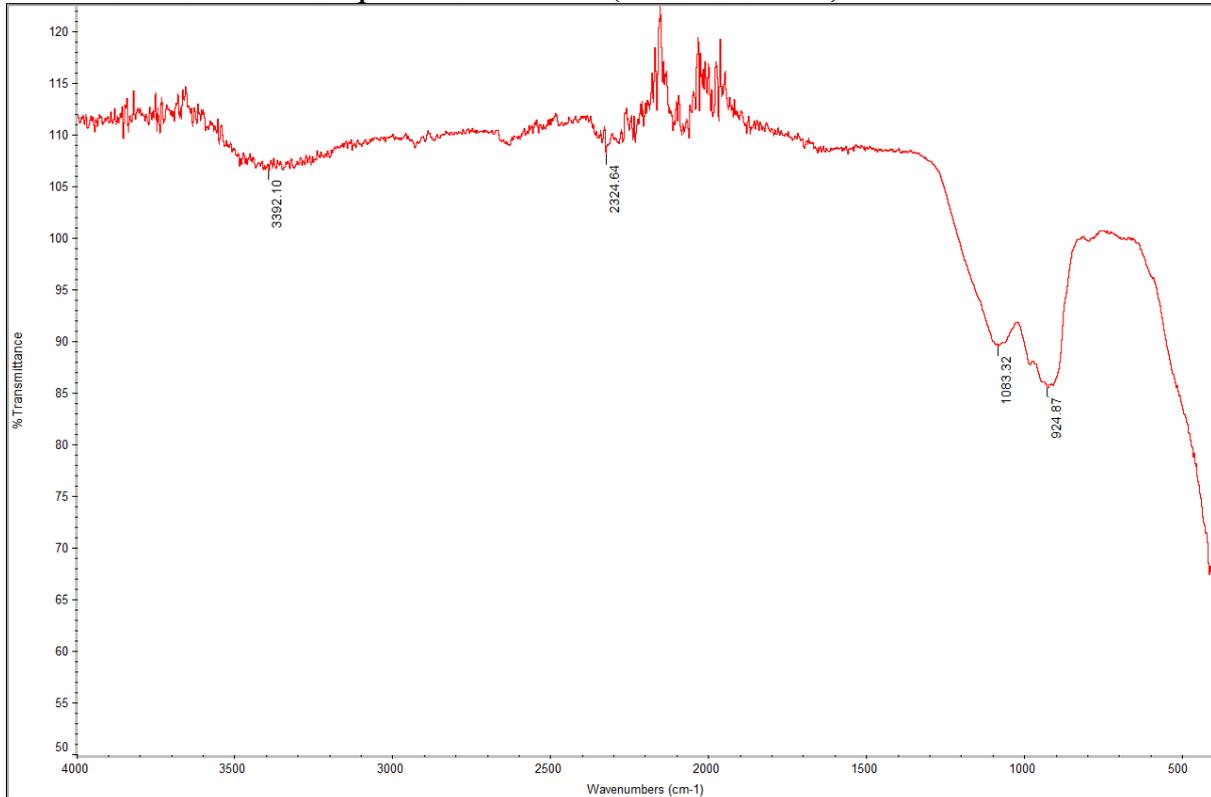
### b. Zinc Oxide



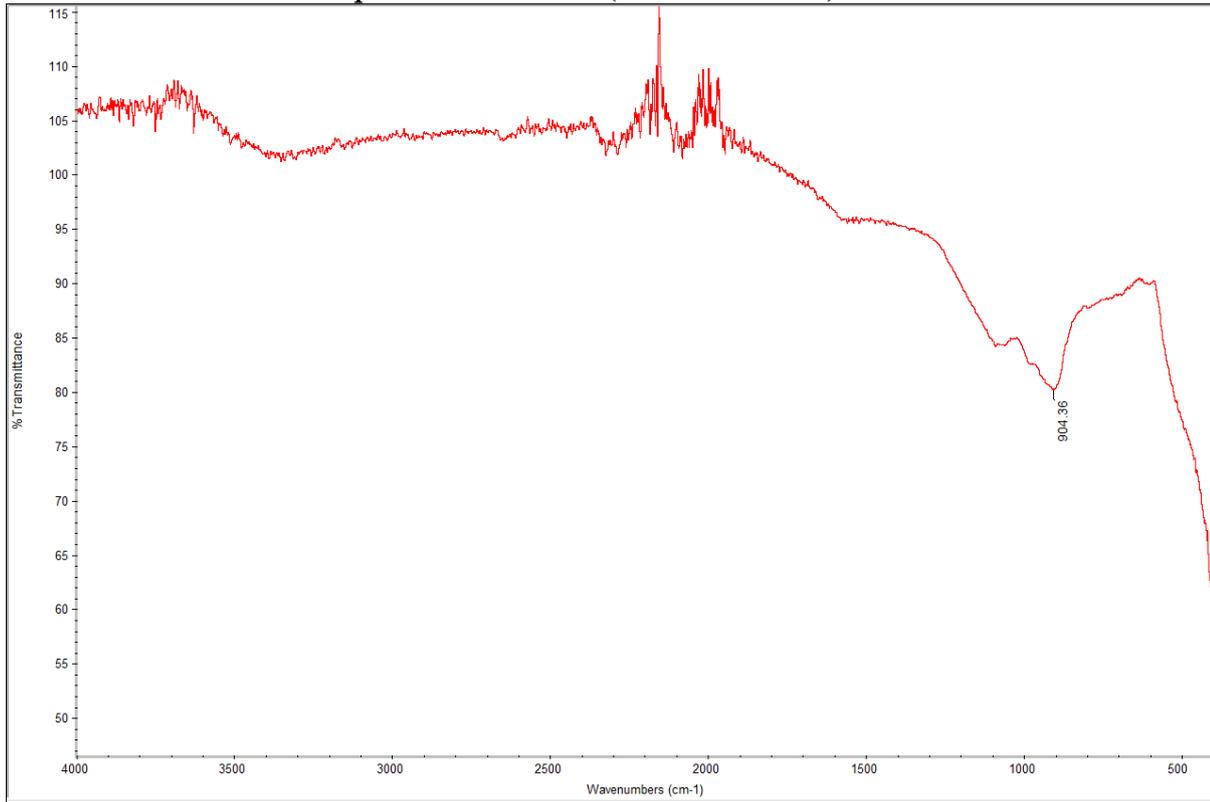
**c. Zinc Oxide/reduced Graphene Oxide 10% (ZnO/rGO 10%)**



**d. Zinc Oxide/reduced Graphene Oxide 15% (ZnO/rGO 15%)**

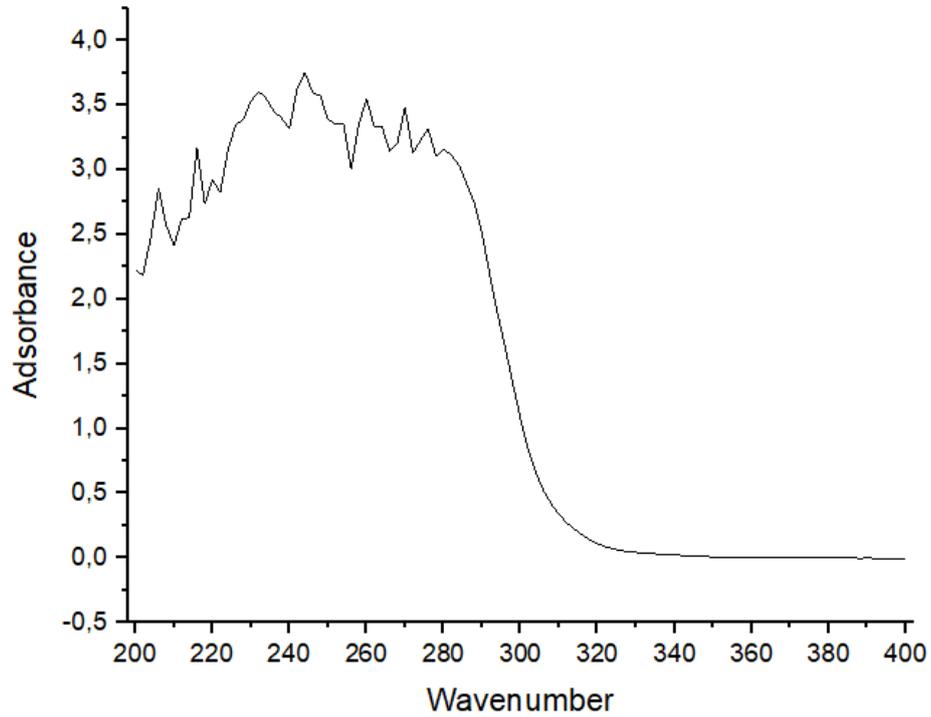


**e. Zinc Oxide/reduced Graphene Oxide 20% (ZnO/rGO 20%)**

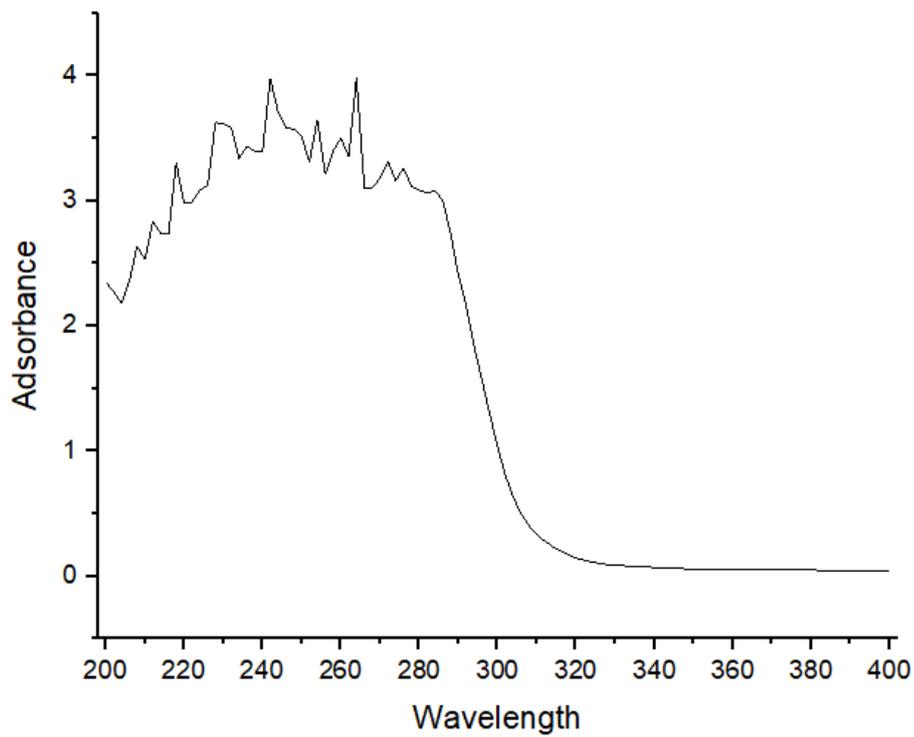


### III. Grafik Spektrofotometri UV-Visible

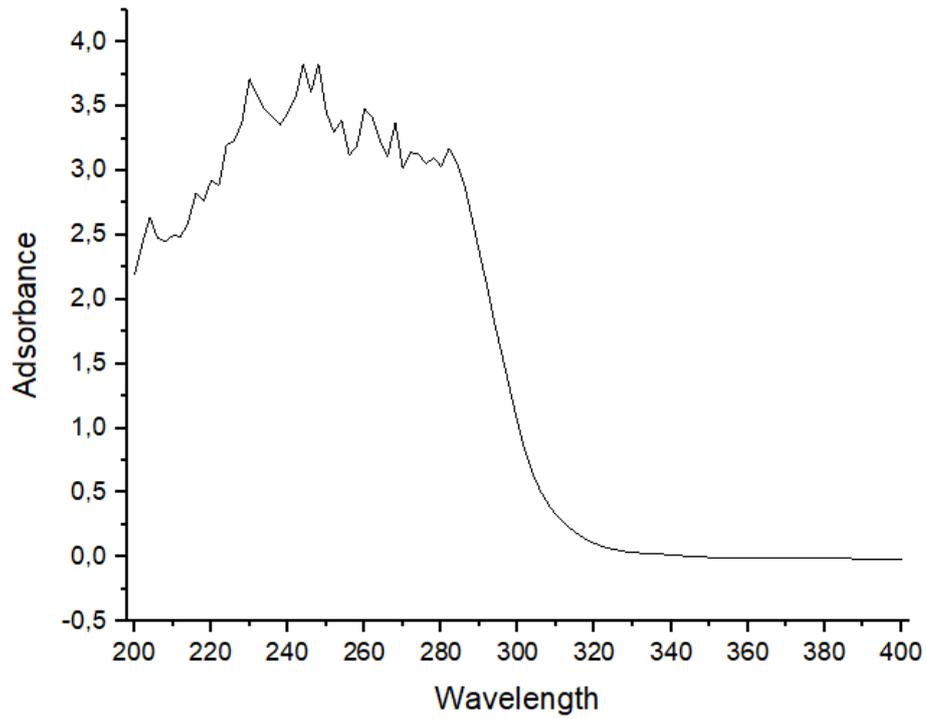
#### a. ZnO/rGO 0% 0 menit



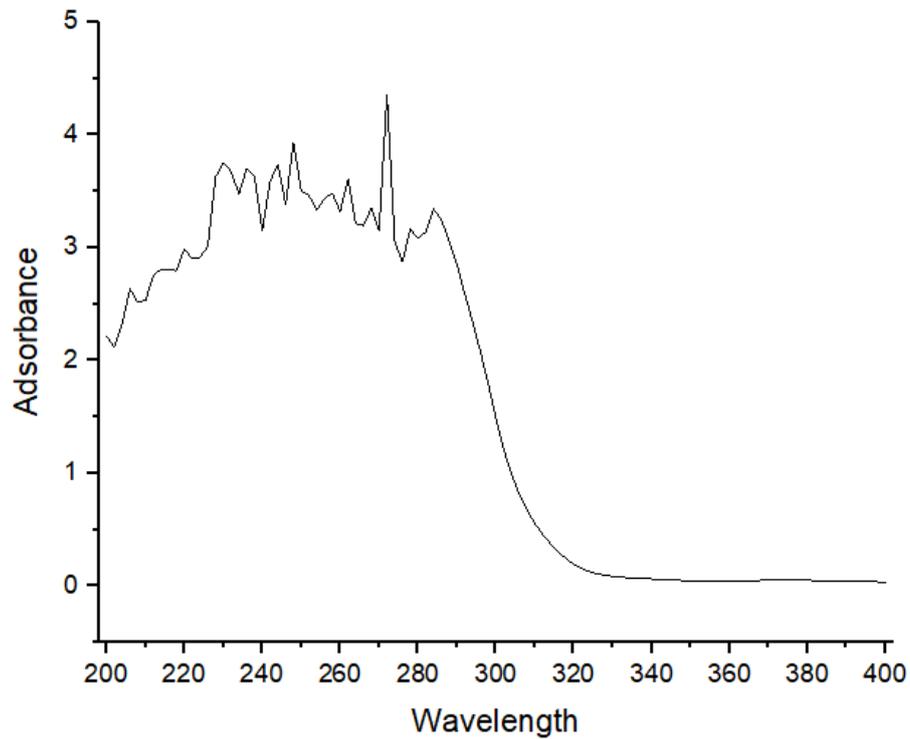
#### a. ZnO/rGO 0% 30 menit



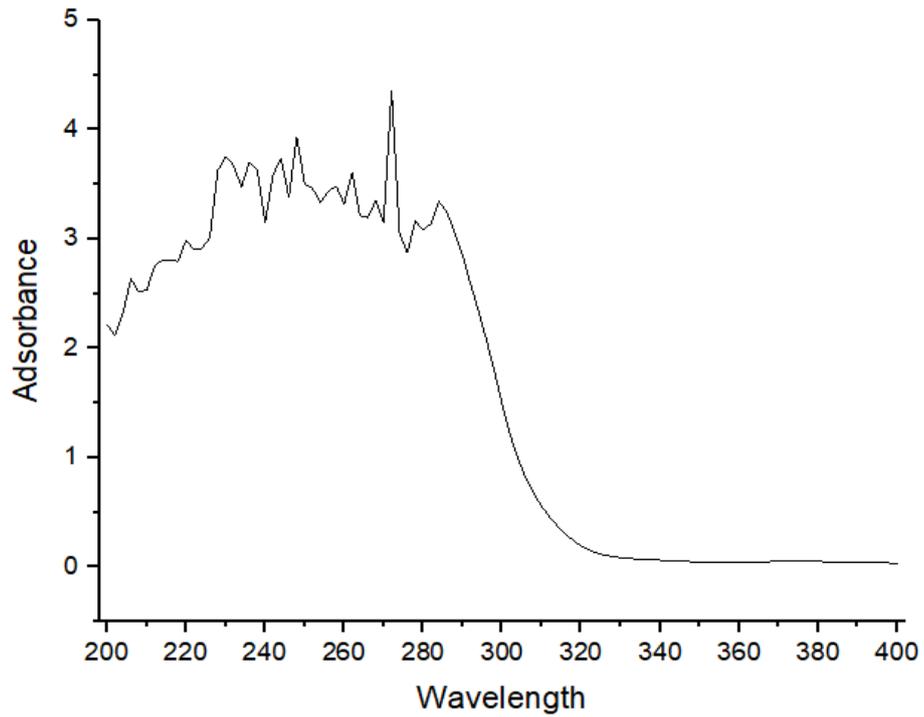
**c. ZnO/rGO 0% 60 menit**



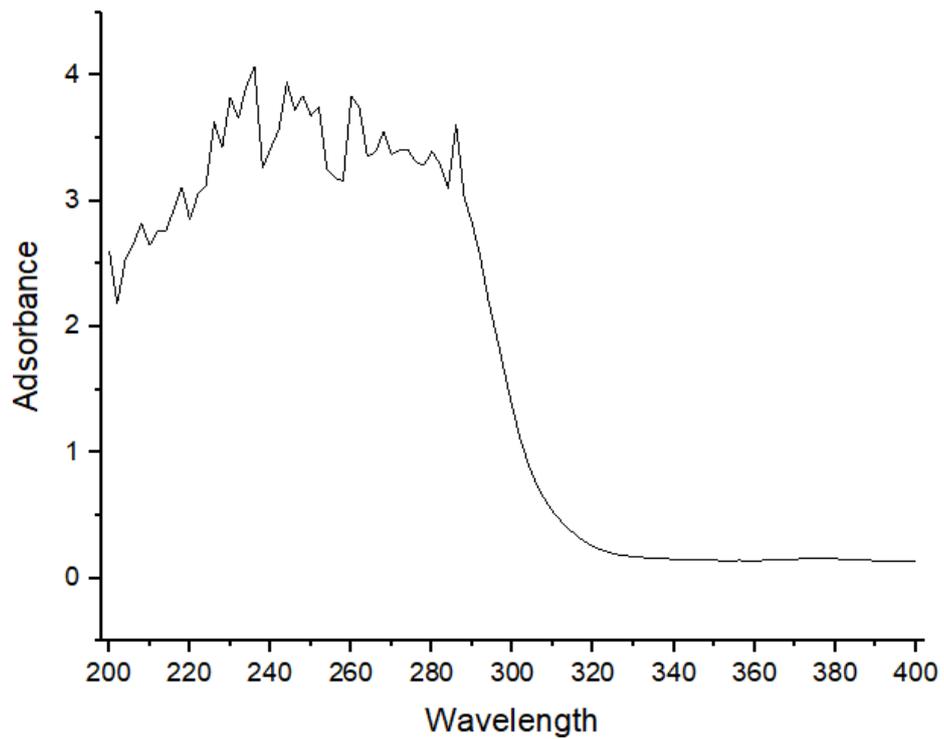
**d. ZnO/rGO 10% 0 menit**



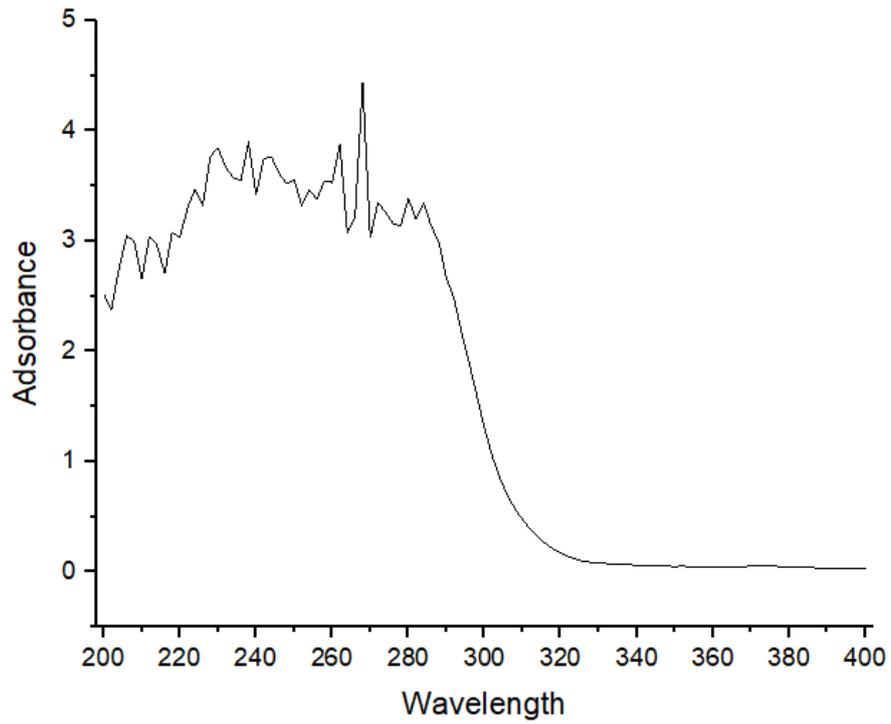
**e. ZnO/rGO 10% 30 menit**



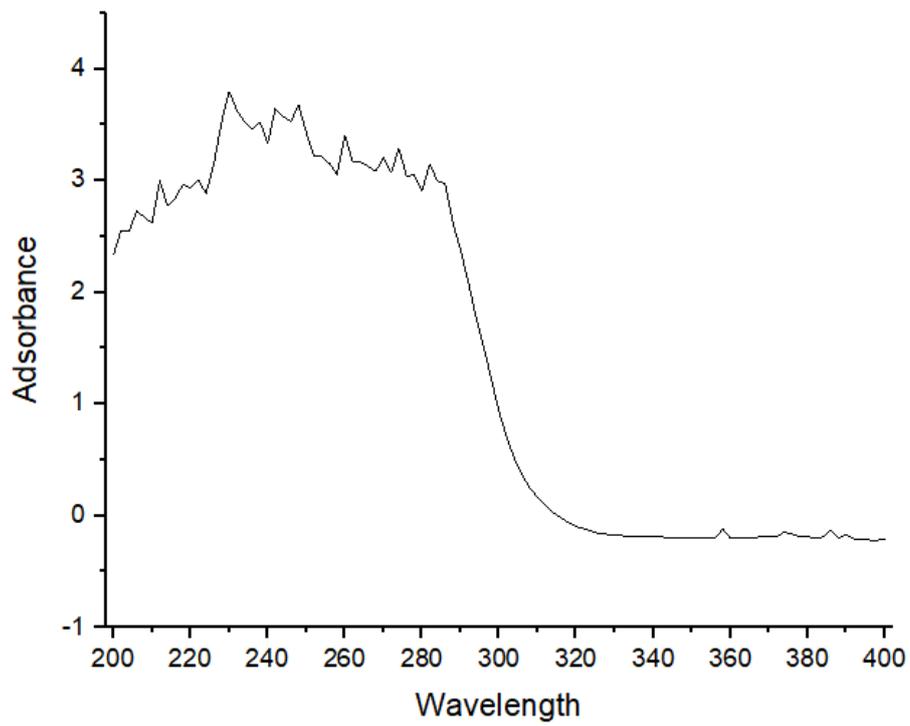
**f. ZnO/rGO 10% 60 menit**



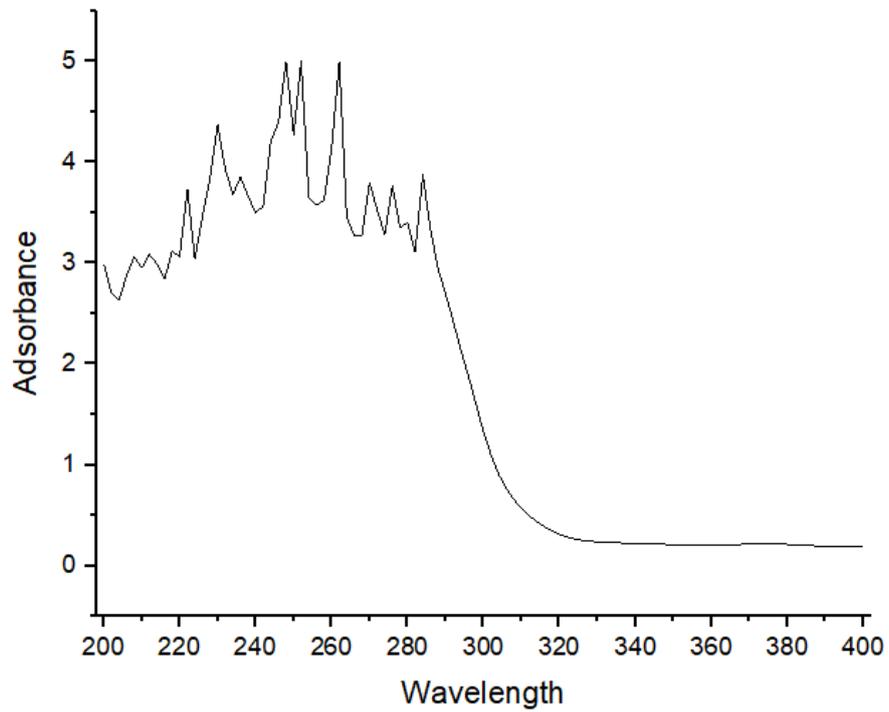
**g. ZnO/rGO 15% 0 menit**



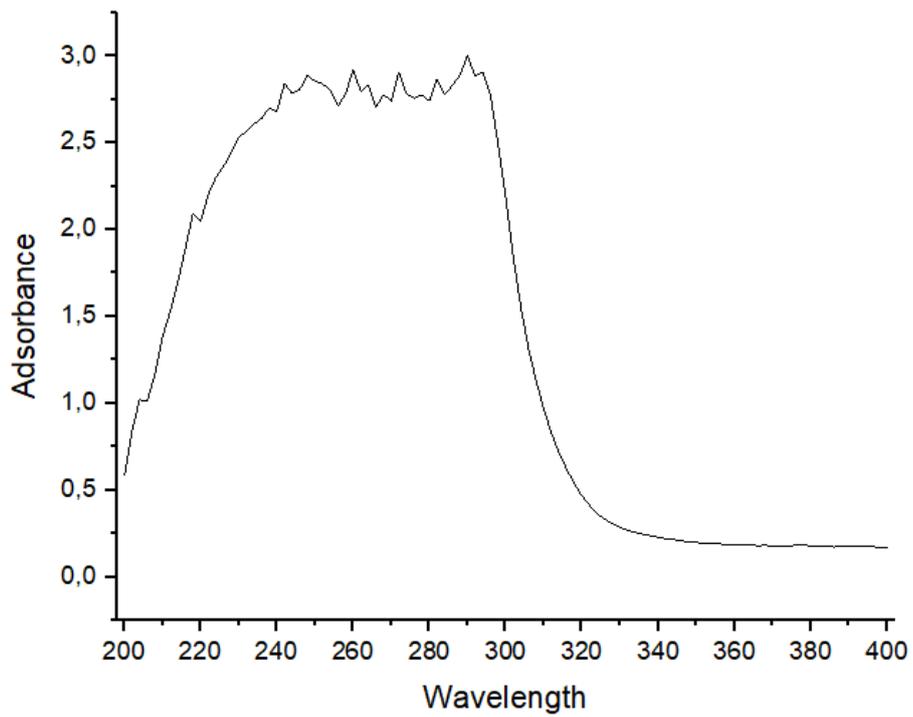
**h. ZnO/rGO 15% 30 menit**



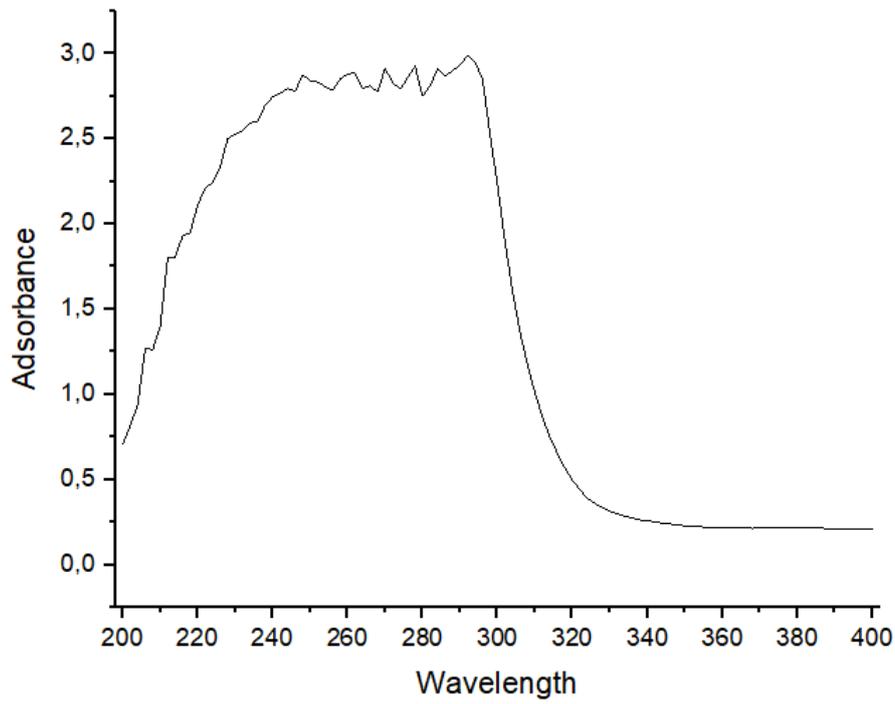
**i. ZnO/rGO 15% 60 menit**



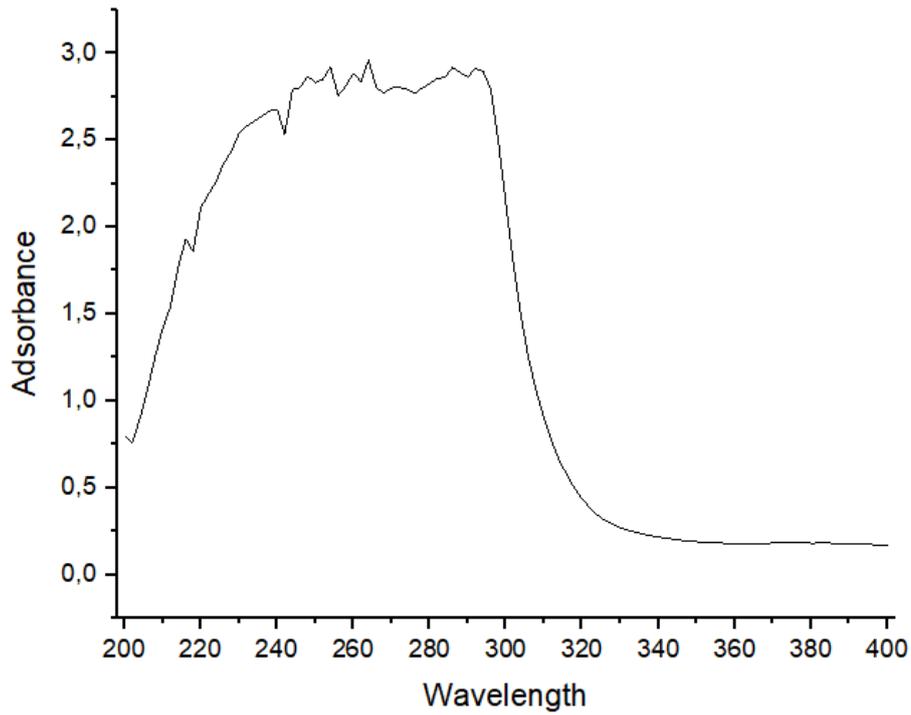
**j. ZnO/rGO 20% 0 menit**



**k. ZnO/rGO 20% 30 menit**



**l. ZnO/rGO 20% 60 menit**



## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam mengerjakan laporan penelitian tugas akhir ini, penulis juga mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu. Diantaranya:

1. Kedua orang tua serta keluarga yang selalu mendoakan, dukungan dan motivasi.
2. Ibu Diah Susanti, S.T.,M.T.,PhD. selaku dosen pembimbing pertama yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir dan ilmu-ilmu yang didapatkan selama semester akhir penulis.
3. Ibu Azzah Dyah Pramata, S.T.,M.T.,M.Eng.,PhD., selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama masa pengerjaan hingga selesai
4. Dian Mughni Fellicia, S.T.,M.Sc. (Eng)., Ph.D selaku dosen wali yang membantu dalam akademik penulis.
5. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-RS ITS.
5. Seluruh dosen dan tendik Departemen Teknik Material dan Metalurgi yang telah memfasilitasi pendidikan selama masa kuliah.
6. Rekan rekan laboratorium Kimia Material dan Fisika Material yang telah mendukung secara materi dan moral dalam mengerjakan penelitian tugas akhir

Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun, demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini.

Surabaya, 15 Juli 2022  
Penulis,

Azhim Rama Perkasa  
NRP.0251184000087

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BIODATA PENULIS**

Penulis dengan nama Azhim Rama Perkasa lahir di Jakarta, 21 Juni 2000 sebagai anak pertama dengan orang tua dari ayah bernama Mariono dan ibu bernama Hartinah Wiyanti. Penulis menempuh Pendidikan formal dimulai dari SDS Angkasa 1 Jakarta pada tahun 2006 – 2012. Dilanjutkan di SMP Negeri 80 Jakarta pada tahun 2012 – 2015. Kemudian dilanjutkan di SMA Negeri 67 Jakarta pada tahun 2015 – 2018. Setelah lulus dari Sekolah Menengah Atas, penulis melanjutkan Pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Selama berkuliah di Departemen Teknik Material, penulis pernah mengikuti kegiatan pelatihan PKTI, AMS FTI, LKMW TL, dan LKMM TM. Penulis juga aktif dalam kegiatan berorganisasi di Departemen Syiar Ash-Haabul Kahfi sebagai wakil kepala departemen pada kepengurusan 20/21 dan di BLM FTI ITS sebagai ketua komisi aspirasi. Penulis juga sempat aktif di berbagai kegiatan seperti Aksi Sepuluh Nopember, KPU ITS 2019/2020, KPU FTI 2020/2021, dan lain-lain. Untuk menyelesaikan Pendidikan Sarjana, penulis melakukan penelitian dalam bidang studi Material Inovasi di Laboratorium Kimia Material dengan tugas akhir berjudul “PENGARUH PENAMBAHAN PERSEN MASSA rGO TERHADAP SIFAT FOTOKATALITIK MATERIAL KOMPOSIT ZINC OXIDE/REDUCED GRAPHENE OXIDE (ZnO/rGO) PADA PROSES DEGRADASI LIMBAH PARASETAMOL”. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email: [azhimrama@gmail.com](mailto:azhimrama@gmail.com) , No.HP: 083116877444.